UNIVERSITÉ DE BORDEAUX II
Unité d'Enseignement et de Recherche d'Odontologie

3ème Cycle
d'Enseignement Supérieur
N° d'ordre : 3

ANNÉE 1973

Thèse pour le Doctorat de Sciences Odontologiques

présentée et soutenue publiquement le 2 mai 1973

PAR

Sion LEVY
Chirurgien-dentiste
né le 26 août 1925 à Fès (Maroc)

Contribution à l'Etude de l'Electrogalvanisme Buccal et de la Pathogénie des Caries Evoluant au Voisinage des Pièces Métalliques.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

M. P. BENOIT, Professeur ..... PRÉSIDENT

M. F. X. MICHELET, Professeur .....
M. F. CAITUCOLI, Professeur ..... } JUGES
M. P. FOURTEAU, Professeur .....
M. Ph. BOUTONNET, Professeur .....

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549623_0029

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX II
Unité d'Enseignement et de Recherche d'Odontologie

3ème Cycle
d'Enseignement Supérieur
N° d'ordre : 3

ANNÉE 1973

Thèse pour le Doctorat de Sciences Odontologiques

présentée et soutenue publiquement le 2 mai 1973

PAR

Sion LEVY
Chirurgien-dentiste
né le 26 août 1925 à Fès (Maroc)

Contribution à l'Etude de l'Electrogalvanisme Buccal et de la Pathogénie des Caries Evoluant au Voisinage des Pièces Métalliques.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

M. P. BENOIT, Professeur ..... PRÉSIDENT

M. F. X. MICHELET, Professeur .....
M. F. CAITUCOLI, Professeur ..... } JUGES
M. P. FOURTEAU, Professeur .....
M. Ph. BOUTONNET, Professeur .....

UNIV.
LEIDEN

UNIVERSITE de BORDEAUX II

Unités d'Enseignement et de Recherche des Sciences Médicales

DOYENS HONORAIRES : MM. G.PORTMANN, R. SIGALAS, F. TAYEAU.

PRESIDENT : M. H. BRICAUD VICE-PRESIDENTS: MM. R. STOLL, Cl.BERAUD, E. SICARD.

Professeurs Honoraires :

MM. CHARRIER, CREYX, DARGET, R. SIGALAS, G. PORTMANN, M. RIVIERE, R. FABRE, P. FOURMENT, E. AUBERTIN, X. J. DUBECQ, L. MASSE, A. LACHAPELE, J. DESPONS, G. DUBOURG, P. DELMAS-MARSALET, A. RIGAUD, J. VILLAR, P. DERVILLEE, P. LE COULANT.

Maître de conférences agrégé honoraire :

M. BERGER

Professeurs titulaires :

R. MANDOUL	Zoologie et parasitologie
J. REBOUL	Carcinologie
R. GRANDPIERRE	Physiologie
P. BROUSTET	Clinique médicale cardiologique
F. TAYEAU	Biochimie médicale A
G. MAYER	Histologie et embryologie
P. BLANQUET	Physique nucléaire appliquée et radiobiologie
R. SARIC	Clinique médicale
J.J. DUBARRY	Hydro-climatologie thérapeutique et clinique des maladies de l'appareil digestif
F.R. TRAISSAC	Clinique thérapeutique
R. MAHON	Clinique d'accouchements
R. PAUTRIZEL	Immunologie et biologie parasitaire
Mlle G. ROUGIER	Biologie appliquée à l'éducation physique et aux sports
G. MOUSTARDIER	Bactériologie
E. BESSIERE	Clinique ophtalmologique
H. LEGER	Anatomie pathologique

G. MORETTI	Clinique médicale propédeutique et médecine tropicale
N.	Clinique oto-rhino-laryngologique
P. LAUMONIER	Clinique chirurgicale pleuro-pulmonaire
J. LENG-LEVY	Clinique médicale et des maladies infectieuses
R. LETAC	Pathologie et recherche chirurgicales
E. NEUZIL	Biochimie médicale B
R. STOLL	Biologie
J. LANGE	Clinique urologique
P. FREOUR	Hygiène et clinique de pneumophtisiologie
J. FAURE	Médecine expérimentale et physiopathologie
N.	Clinique chirurgicale des maladies cardiaques
N.	Clinique gynécologique
J. DUHAMEL	Physique médicale et pharmaceutique
H. CHOUSSAT	Pathologie médicale
L. CHASTRUSSE	Clinique obstétricale
P. VERGER	Clinique médicale des maladies des enfants
F. LAPORTE	Chirurgie générale
R. TINGAUD	Clinique chirurgicale
Cl. RICHIR	Anatomie pathologique
H. BRICAUD	Médecine générale
P. BENOIT	Clinique odonto-stomatologique
Cl. MARTIN-DUPONT	Clinique néphrologique
R. CANIVENC	Histologie
G. DELORME	Electroradiologie
J. DEPAULIS	Séméiologie chirurgicale
J. RIVIERE	Séméiologie médicale
H. DULONG DE ROSNAY	Bactériologie
R. DARMAILLACQ	Chirurgie générale
H. POUYANNE	Clinique neuro-chirurgicale
R. CASTAING	Réanimation respiratoire et anesthésiologie
L. DOUTRE	Clinique chirurgicale A
R. MARAUD	Histologie et embryologie
H. CABANIE	Anatomie
J. DAVID-CHAUSSE	Rhumatologie
J. STAEFFEN	Médecine générale
P. SOURREIL	Dermato-vénéralogie
P. LOISEAU	Clinique neurologique
P. L'EPEE	Médecine légale et médecine du travail
R. GENESTE	Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique
L. TEXIER	Clinique des maladies cutanées et syphilitiques

Professeur associé :

J. MOULINIER	Hématologie

Professeurs sans chaire :

J. MARQUEVIELLE	Biochimie médicale
M. BLANC	Neuro-psychiatrie
Cl. MASSE	Chirurgie générale
P. DU PASQUIER	Bactériologie
J.P. DUBECQ	Obstétrique
G. NEVERRE	Physiologie
J. MEUNIER	Histologie
A. SERISE	Hygiène
P. FERRET-BOUIN	Physique médicale
J. VIDEAU	Anatomie
P. BLANCHOT	Médecine générale
Cl. BERAUD	Thérapeutique
J. BROUSSIN	Electroradiologie
R.TESSIER	Pneumo-phtisiologie
Cl. LAGARDE	Carcinologie

Maîtres de conférences agrégés :

R. JENSEN	Chimie biologique
Mme J. SECHET	Biochimie médicale
H. LAZARINI	Médecine légale et Médecine du travail
J. SOUMIREU-MOURAT	Obstétrique
G. CABANIEU	Médecine générale
R. LE LOURD	Pneumo-phtisiologie
L. COURAUD	Chirurgie générale
J. BENTEGEAT	Hématologie
L. ARNE	Médecine générale et thérapeutique
Cl. MARTIN	Pédiatrie
C. WONE	Médecine générale et thérapeutique
J. JULIEN	Médecine générale et thérapeutique
J.J. BATTIN	Pédiatrie
M. DALLOCHIO	Cardiologie et maladies vasculaires
J. AUBERTIN	Maladies infectieuses
P. VERIN	Ophtalmologie
M. GOT	Neuro-chirurgie
J. TAVERNIER	Electroradiologie: diagnostic et thérapeutique
J. VINCENT	Physiologie et explorations fonctionnelles
R. CHEVAIS	Anesthésiologie
G. GILLARDEAU	Anesthésiologie
G. BRUN	Gynécologie, obstétrique
J. HONTON	Orthopédie et traumatologie
A. HUGUES	Cancérologie
M. SABATHIE	Anesthésiologie
A. BROUSTET	Médecine interne
J.L. LATAPIE	Médecine interne

B. LENG	Médecine interne
J. PACCALIN	Thérapeutique, réanimation médicale, rééducation fonctionnelle et hydrologique
J.M. CAILLE	Radiologie
P. BESSE	Cardiologie
M. APARICIO	Néphrologie
Mme C. BEYLOT	Dermato-vénérologie
J.M. GUILLARD	Pédiatrie, génétique médicale
J. PERISSAT	Chirurgie générale
D. LANGE	Urologie
F. COHADON	Neuro-chirurgie
Mme M.J.REBELLER	Ophtalmologie
F.X. MICHELET	Stomatologie
J.Cl. ROQUES	Biophysique
A. CASSAIGNE	Biochimie
J. ROZIER	Physiologie
J. DANGOUMAU	Pharmacologie
J. TRIBOULEY	Parasitologie
G. DELMON	Anatomie pathologique
Cl. BENSCH	Physiologie
P. LEMAN	Neuro-chirurgie
F. MOREAU	Médecine interne
J.Cl.FAVAREL-GARRIGUES	Thérapeutique, réanimation médicale, rééducation fonctionnelle et hydrologie
G. COURTY	Pneumo-phtisiologie
J. P. BROUSTET	Cardiologie
A. QUINTON	Hépatologie, gastro-entérologie
B. SANDLER	Pédiatrie, génétique médicale
P. BOISSIERAS	Chirurgie générale
M. PARNEIX	Chirurgie générale
A. LE REBELLER	Orthopédie, traumatologie, chirurgie plastique et reconstructive
D. DUCASSOU	Biophysique
Cl. VITAL	Anatomie pathologique
J. BERNADOU	Médecine préventive et santé publique (option clinique)
J. SENEGAS	Anatomie et organogénèse (option orthopédie)

Agrégés en exercice :

F. FONTAN	Chirurgie générale
J. LASSERRE	Orthopédie

Agrégés libres :

G. FAUGERE	Obstétrique
L. CORCELLE	Ophtalmologie
M. PORTMANN	Oto-rhino-laryngologie
F. BALLANGER	Urologie
J.P. CALAMEL	Chirurgie générale

UNIVERSITE de BORDEAUX II

Unité d'Enseignement et de Recherche des Sciences pharmaceutiques.

DOYENS HONORAIRES : MM. G. PORTMANN, R. SIGALAS, F. TAYEAU.

PRESIDENT : M. H. BRICAUD VICE-PRESIDENTS: MM. R. STOLL, Cl.BERAUD, E. SICARD.

Professeurs honoraires :

MM. R. GIRARD, C. PIFFAULT, G. VITTE.

Professeurs titulaires :

R. CASTAGNOU	Toxicologie et hygiène appliquée
P. MESNARD	Chimie organique et chimie analytique
J. MASQUELIER	Matière médicale
R. QUILICHINI	Pharmacie galénique
R. BABIN	Pharmacie chimique
H. LAUBIE	Botanique et cryptogamie
R. GOLSE	Chimie générale et chimie minérale
J. BAILENGER	Zoologie et biologie animale
J. Cl. COLLETER	Chimie analytique
J. CANELLAS	Pharmacodynamie et hydrologie
R. CROCKETT	Chimie organique et chimie analytique

Professeurs sans chaire :

Cl. VRIGNAUD	Physique pharmaceutique
Mlle S. LARCEBAU	Toxicologie
G. DEVAUX	Pharmacie chimique
J. ROQUEBERT	Pharmacodynamie

Maîtres de conférences agrégés :

R. BAUTE	Cryptogamie
V.R. DARGELOS	Microbiologie
M. GADRET	Chimie analytique
E. JOUZIER	Chimie biologique (Pharmacie)
F. COUSTOU	Législation et déontologie pharmaceutique
P. AUMONIER	Pharmacie galénique

UNIVERSITE de BORDEAUX II

Unité d'Enseignement et de Recherche d'Odontologie

DIRECTEUR : M. P. BENOIT

DIRECTEUR ADJOINT : M. J. SECHET

Professeurs 1er grade

P. BOUSSAGOL	Biologie et Matières fondamentales
F. CAITUCOLI	Biologie et Matières fondamentales
J. DULUC	Pathologie et Thérapeutique
R.G. GUDIN	Orthopédie dento faciale
M. LACAZEDIEU	Dentisterie opératoire

Professeurs 2ème grade

J.P. BELAIR	Dentisterie opératoire
G. BERTRAND	Pathologie et thérapeutique
Ph. BOUTONNET	Biologie et Matières fondamentales
G. BRUN	Pathologie et thérapeutique
P. BRUNET	Pathologie et thérapeutique
J. DARQUE	Orthopédie dento faciale
R. FERRAN	Prothèse
Mme J. FOURTEAU	Orthopédie dento faciale
P. FOURTEAU	Prothèse
H. HUGUET	Dentisterie opératoire
J. LUSSAC	Prothèse
J. ROUGE	Dentisterie opératoire
J. SECHET	Dentisterie opératoire

A la mémoire de

mes PARENTS

A mon EPOUSE,

Mes pensées les plus tendres vont à mon EPOUSE qui m'a secondé en me déchargeant de bien des tâches et n'a cessé de me prodiguer ses encouragements pendant la préparation de ce travail.

Vous partagez aujourd'hui ma joie et il vous revient une grande part du succès.

A mes ENFANTS

CATHERINE , GABRIEL , CLAUDE

avec mon affection.

A Monsieur le Professeur X.J. DUBECQ

Professeur honoraire de Clinique Odonto-Stomatologique

Docteur ès Sciences

Officier de la Légion d'Honneur

Officier des Palmes Académiques

Commandeur de l'Ordre du Ouissam Alaouite Chérifien

Médaille de la France Libérée

Chevalier de la Santé Publique.

Vous nous avez initiés à l'art dentaire, mon cher Maître, alors que nous étions jeune, au sortir de la guerre. Tout au cours de notre pratique, longue aujourd'hui de vingt deux ans, nous n'avons cessé de nous remémorer votre enseignement riche et éclairé.

Nous tenons à vous exprimer nos remerciements à l'occasion de cette thèse.

J'adresse mes REMERCIEMENTS

à Monsieur le Professeur DULONG DE ROSNAY, Professeur de bactériologie à l'U.E.R. de Sciences Médicales de l'Université de Bordeaux, qui a bien voulu nous admettre dans son Laboratoire de l'Hôpital Pellegrin et aimablement nous permettre d'y utiliser son spectrophotomètre à absorption atomique.

à Monsieur le DIRECTEUR du LABORATOIRE MUNICIPAL de la ville de Bordeaux (Service des Fraudes), qui nous a acceptés dans ses laboratoires et mis à notre disposition son Personnel et son matériel de pesée.

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur P. BENOIT

Professeur de Clinique Odonto-Stomatologique
Directeur de l'U.E.R. d'Odontologie
Stomatologiste des Hôpitaux
Officier des Palmes Académiques.

Votre amitié n'est pas un vain mot et vous nous l'aviez accordée depuis longtemps déjà. Il nous a suffi de nous manifester et les portes de votre Ecole se sont de nouveau ouvertes; nous y avons trouvé un accueil chaleureux de la part de Tous.

Vous avez été notre défenseur, alors que nous étions isolé à 2000 Km de Bordeaux, pour l'obtention des crédits indispensables à notre recherche; sans cela elle eût été impossible.

Vous nous faites enfin l'honneur de présider notre jury de thèse.

Nous tenons à vous exprimer, Monsieur le Président, notre gratitude, nos vifs remerciements et notre profond respect.

A NOS JUGES

A Monsieur le Docteur F.X. MICHELET

Maître de Conférences agrégé de Stomatologie
Stomatologiste des Hôpitaux

Les quelques fois où nous avons eu le plaisir de vous rencontrer nous ont édifiés sur votre vivacité d'esprit et la qualité de vos interventions.

Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant de siéger à notre jury de thèse et vous en remercions vivement.

A Monsieur F. CAITUCOLI

Professeur à l'U.E.R. d'Odontologie
Ingénieur E.S.C.B.
Licencié ès Sciences
Chirurgien-Dentiste

Avec votre compétence qui n'a d'égale que votre amabilité, vous nous avez initiés à ce travail de recherche et vous avez guidé nos pas dans ce domaine jusqu'alors inconnu pour nous.

Nous tenons à vous remercier et à vous dire notre gratitude pour nous avoir permis d'envahir périodiquement vos laboratoires et pour l'intérêt que vous avez témoigné à notre travail plus de trois années durant.

A Monsieur P. FOURTEAU

Professeur à l'U.E.R. d'Odontologie
Docteur de 3ème cycle de Sciences Odontologiques
Diplômé d'Etudes supérieures de Sciences Naturelles

Nous n'avons pas eu le plaisir de vous connaître plus amplement, ne pouvant être à Bordeaux aussi souvent que nous l'aurions désiré. Nous espérons que l'occasion de cette thèse nous ouvrira la voie de votre estime et de votre amitié.

Votre présence au sein de notre jury de thèse nous honore et nous vous remercions d'avoir accepté d'y siéger.

A Monsieur le Docteur Ph. BOUTONNET

Professeur à l'U.E.R. d'Odontologie
Stomatologiste
Docteur de 3ème cycle de Sciences Odontologiques
Chevalier des Palmes Académiques.

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de participer à notre jury de thèse.

La spontanéité de vos sentiments et votre simplicité nous ont profondément ému.

PLAN GENERAL

INTRODUCTION

Première partie:

LA CORROSION ET LE GALVANISME ENDOBUCCAL.

I. LE MILIEU BUCCAL.

A. La bouche et ses fonctions.

Fonction masticatoire.

La respiration.

Les aliments: digestion buccale, débris alimentaires.

La flore microbienne.

La température.

B. La salive.

1°) La salive vis-à-vis de la dent.

rôle nutritif

rôle minéralisant et reminéralisant

rôle de la phosphatase

rôle de la mucine.

2°) L'électrolyte salivaire.

a - le pH salivaire et ses variations.

b - les sels salivaires:

anions et cations,

ions corrosifs,

aération différentielle.

II. LES ALLIAGES DENTAIRES.

- les alliages dentaires
- les hétérogénéités des alliages dentaires.

A. Les alliages d'or

Composition: alliages précieux,
aptitude à l'homogénéisation.

Constitution: soudage, coulée, usinage.

B. Les aciers inoxydables et les alliages Cr-Co.

Composition.

Constitution:

aciers inoxydables.

alliages Cr-Co: Fuchs et Puszar
Acharia, Freise et Greener
les coulées, les soudures.

C. Les amalgames.

Composition.

Constitution, structure.

D. Propriétés électrolytiques.

1°) potentiels des alliages

2°) solubilité des métaux dans la salive.

III. L'ELECTROGALVANISME BUCCAL.

Les ondes électriques dans l'organisme
L'électrogalvanisme dans la bouche
Constitution de la pile
Mesures de la D.D.P.
Valeurs de la D.D.P.
Intensité du courant
Le circuit extérieur.

IV. LA CORROSION.

Pile de corrosion, l'action corrosive, symptômes de la corrosion.

A. Corrosion des alliages d'or.

Motifs de la corrosion des alliages d'or
Corrosion des alliages d'or en contact avec l'amalgame:
Fusayama, Zuhrt Rainer.

B. Corrosion des aciers inoxydables et des alliages Cr-Co.

Recherches de Venable et Stuck

Recherches de Acharia, Freise et Greener

Travaux de Tani et Zucci

Recherches de Carafas

Les soudures: Bien et Ayers, Shigeo Takahashi, Caitucoli et Dufrèche.

C. Corrosion des amalgames.

Travaux de Shoonover et Souder: or-amalgame

Travaux de Modjeski

Travaux de Guthrow, Johnson et Lawless

Travaux de Carter, Ross et Smith

Travaux de Habu

Travaux de Mateer et Reitz

Couplage d'alliages: Brugirard.

V. CONCLUSION.

Deuxième partie:

ETUDE EXPERIMENTALE.

I. PROTOCOLE EXPERIMENTAL.

Les observations

Prélèvement des échantillons

Préparation des échantillons

- pesée des échantillons
- dissolution et dilution des échantillons

Analyse des échantillons

- principe de la spectrométrie d'absorption atomique
- l'analyse elle-même

Calcul de la concentration de métal dans les échantillons de tissus dentaires prélevés.

II. LES DOSAGES.

A. Dosage de l'étain

mesures

comparaison des résultats

B. Dosage du cuivre

mesures

comparaison des résultats

C. Dosage de l'argent

D. Recherche du chrome, du cobalt et du nickel

recherche du chrome

recherche du cobalt

recherche du nickel

III. ETUDE DES RESULTATS.

A. Etude du tableau D

1°) Etude bibliographique des recherches d'oligo-éléments dans les tissus dentaires.

- l'étain
  - Travaux de Brudevold et Steadman
  - Travaux de Speirs
- le cuivre
  - Travaux de Brudevold et Steadman
  - Travaux de Speirs
  - Travaux de Nixon
  - Travaux de Rougereau, Charles et Bérenholc
- Travaux de Retief.

2°) Le tableau D

- les doses d'étain
- les doses de cuivre
- les doses d'argent.

B. Etude du tableau A

- les observations
- le tableau

C. Etude du tableau B

- les observations
- le tableau

combinaison or-amalgame

combinaison acier-amalgame

D. Etude du tableau C

- les observations
- le tableau

IV. CONCLUSION.

- les doses trouvées comparées à celles figurant dans les alliages.
- les doses trouvées par rapport à celles que nous pourrions considérer comme normales. Sélection des ions par le courant galvanique.
- types d'alliages près desquels les caries ont été les plus nombreuses.

Troisième partie

PATHOLOGIE ELECTROGALVANIQUE: INCIDENCE SUR LA DENT: LA CARIE.

I. PROPRIETES DE L'ORGANE DENTAIRE.

Conductibilité électrique de la dent

Perméabilité de l'émail

Perméabilité de l'ivoire

Solubilité de l'émail

Physiologie de l'organe dentaire.

II. PATHOLOGIE ELECTROGALVANIQUE.

A. Rappel de pathologie générale.

B. Pathologie dentaire: La carie.

1°) décalcification: expérience de Wakai.

2°) la plaque dentaire

3°) les oligo-éléments et la carie

l'étain

le cuivre

4°) l'irrésistance

- la théorie de Leimgruber
- les ions métalliques

valence

rayons ioniques

chélation

CONCLUSION GENERALE.

INTRODUCTION

Le Professeur FRANK (41) a défini récemment la carie dentaire comme étant "une maladie bactérienne non spécifique liée à la colonisation des surfaces dentaires par la plaque dont les produits de métabolisme sont responsables de la dissolution des cristaux d'apatite de l'émail".

Cette définition comporte en elle les deux aspects étiologiques à propos desquels les recherches sont largement poussées:
- l'aspect microbiologique qui a conduit à travailler sur animaux "germ free" et "non germ free",
- l'aspect diététique pour son incidence sur le métabolisme de la plaque qui a conduit à déterminer des "régimes cariogènes" et des "régimes non cariogènes".

Du point de vue de la pathogénie, de nombreuses théories ont été avancées et, après les théories parasitaires, chimiques, bactériennes, trophiques et tropho-névrotiques, les théories dites électriques sont celles qui ont le plus cours aujourd'hui et ont attiré notre attention. Parmi elles, la théorie de Leimgruber nous a paru fort intéressante et c'est vers elle que nous conduira ce travail où nous voulons, par une étude expérimentale, tenter d'aborder

le problème de la pathogénie des caries se développant au voisinage des pièces métalliques placées en bouche par nos soins.

Depuis que dans la profession nous reconstituons les dents avec des métaux, on a constaté qu'il apparaissait souvent de nouvelles caries sur les faces saines des dents entrant en contact avec une partie quelconque de la pièce métallique installée. Cette constatation demeure valable quel que soit le type de restauration :

reconstitution d'une dent par:

- une obturation en amalgame,
- l'incrustation d'un inlay,
- l'installation d'une couronne métallique, ou bien

appareillage prothétique visant à remplacer les dents manquantes par :

- bridge inamovible ou
- appareil de prothèse amovible.

PIERSON, HOUSSET, BATAREC, LEIMGRUBER ont envisagé le problème à propos d'appareillages prothétiques amovibles et ont émis quelques interprétations. Pour notre part, nous avons bien quelques observations illustrant le fait pour des prothèses mobiles, mais notre expérimentation se rapporte davantage et de loin, à des caries développées au contact de pièces métalliques inamovibles.

Nous pensons que le phénomène est aujourd'hui moins fréquent avec les appareillages amovibles, probablement du fait que les appareils sont construits avec des alliages Cr-Co (Vitallium, Wisil, etc) qui sont plus stables et électriquement plus inertes que ne l'étaient les alliages d'or à 20 et 18 carats et les aciers inoxydables utilisés jusque là; de plus, ces appareils sont usinés de façon plus scientifique et polis électrolytiquement. Nous dirons encore que ces caries apparaissent moins nombreuses sur les personnes habituées à

retirer leur prothèse pour la nuit.

Enfin, notons que le phénomène se produit aussi avec les appareils en résine; le processus pathogénique semble plus simple dans ce cas, car les meilleures résines et les mieux pressées demeurent poreuses et ne tardent pas à devenir de véritables éponges remplies de salive et de microbes; nous n'en voudrons pour preuve que l'odeur de ces appareils après quelques jours en bouche. Ces prothèses donc, placées au contact intime d'une surface dentaire jouent exactement le rôle de la plaque cariogène.

Auprès des couronnes, des reconstitutions en amalgame, des inlays, ces caries demeurent très fréquentes, bien que très peu d'auteurs en aient parlé; nous ne pouvons dire si leur fréquence est en augmentation ou en régression. Ces prothèses inamovibles sont elles aussi mieux usinées aujourd'hui qu'elles ne l'étaient autrefois, mais leur polissage demeure encore classique; leur polissage électrolytique n'est pas encore entré dans la pratique quotidienne.

COMMENT DONC CES PIECES METALLIQUES PEUVENT-ELLES CONDITIONNER LE DEVELOPPEMENT DE CARIES DENTAIRES A LEUR CONTACT ?

Nous l'avons déjà signalé, quelques auteurs ont envisagé la question et ont invoqué des raisons d'ordres différents :

HOUSSET P.(53), PIERSON M. (90), BATAREC H. (4) ont invoqué des raisons d'ordre mécanique:

La dureté du métal par rapport à celle de l'émail déterminerait une usure de celui-ci par frottement,

Le mauvais ajustage autour des dents entraînerait des traumatismes et une irritation de leurs surfaces en contact avec le métal,

La rugosité et les porosités de la face interne des appareils et des crochets sont incriminées dans le même sens.

Enfin, du fait de leur présence même, ces appareils empêchent le nettoyage des dents par le flot salivaire et par le frottement avec les parties molles; ils entraîneraient la rétention de mucus sur la surface de l'émail.

LEIMGRUBER (72), traitant du problème des crochets donne une explication d'ordre physico-chimique. Il considère que tout crochet d'appareil construit conformément aux données actuelles de la technique prothétique, quels que soient son architecture et le matériau utilisé, provoque une zone de rétention inhabituelle, et que, toute dent devant servir de support à un crochet doit être considérée comme totalement irrésistante; d'autre part, le crochet sert de support à la plaque cariogène et, se basant sur la théorie qu'il a exposée (70,71), il arrive à la conclusion que les métaux électropositifs par rapport à l'hydrogène doivent être écartés tandis que l'on retiendra les métaux électronégatifs pour la construction des crochets.

Tous ces auteurs n'ont traité que de prothèses amovibles et de crochets d'appareils. Qu'en est-il avec les travaux scellés en bouche ?

Nous pensons que tous ces métaux scellés ou non, mais présents dans la bouche, influent de plusieurs façons sur les conditions physico-chimiques et particulièrement électro-chimiques de cette cavité naturelle devenue ainsi une véritable pile électrique. Plus précisément, nous pensons que la corrosion de ces métaux libère des ions, que ces ions migrent à la faveur du flot salivaire et des champs électriques déterminés par la présence de ces métaux, créant ainsi des concentrations ioniques anormales en des points particuliers qui sont précisément les pièces métalliques elles-mêmes. Ainsi, l'équilibre

iono-osmotique entre la salive et la dent se trouve rompu en ces points et ce déséquilibre entraînerait la migration d'ions métalliques à l'intérieur de l'émail.

Ce travail comportera trois grandes divisions; nous étudierons le galvanisme et la corrosion endobuccale dans la première partie; dans la deuxième partie, nous tâcherons d'identifier quelques métaux qui auront ainsi migré à l'intérieur du tissu dentaire et que nous caractériserons dans les tissus ramollis des cavités de carie; enfin, dans la troisième partie, nous tenterons de déterminer comment ces métaux peuvent être cause de ces caries en fait assez nombreuses.

PREMIERE PARTIE

LA CORROSION ET LE GALVANISME ENDOBUCCAL

La corrosion et le galvanisme endobuccal trouvent leurs motifs dans les hétérogénéités des alliages dentaires et du milieu buccal. Une pile, pour exister, nécessite la présence de deux électrodes et d'un électrolyte; dans la bouche, ce sera une macropile si ces deux électrodes sont représentées par deux reconstitutions distinctes baignant dans la salive, ou une micropile si elle est déterminée au sein d'une seule et même pièce métallique du fait des hétérogénéités propres de celle-ci, ou bien, de celles présentées par le milieu ambiant tenant le rôle de l'électrolyte.

Cette première partie comporte des recherches bibliographiques relatives aux facteurs constitutifs de ces piles:

- le milieu buccal
- les alliages dentaires et leurs propriétés électrolytiques

puis au galvanisme et à la corrosion qui en résultent.
Elle nous a paru nécessaire à la préparation de la suivante qu'occuperont entièrement nos travaux.

Le milieu buccal

Le milieu buccal, ambiance dans laquelle sont placées les reconstitutions dentaires, comporte de nombreux motifs d'hétérogénéités conditionnés par la bouche et ses fonctions multiples.

LA BOUCHE ET SES FONCTIONS

La bouche, cavité virtuelle au repos, est un carrefour aéro-digestif dont la capacité peut être mesurée; elle varie entre 80 et 120 ml suivant la taille, l'âge et le sexe des sujets (34). Elle voit transiter l'air à l'inspiration et à l'expiration, les aliments dont la digestion y commence et assure la mastication par l'intermédiaire des dents. Elle est constamment baignée par la salive. Ces fonctions conditionnent le milieu buccal soit directement, soit indirectement par leur influence sur la salive dont elles modifient les caractéristiques.

LA FONCTION MASTICATOIRE impose aux restaurations dentaires métalliques des efforts mécaniques, chocs répétés sur les faces occlusales des prothèses, flexions alternées de faible amplitude sur les crochets, les plaques et les travées de pont. Ces efforts seront créateurs de contraintes à l'intérieur des métaux, de phénomènes de durcissements, d'écrouissage et de fatigue; nous reviendrons sur l'importance de ces phénomènes avec l'étude des alliages dentaires et de la corrosion. De plus, dans certains cas, ces restaurations empêchent le balayage de la surface des dents et leur nettoyage par le flot salivaire et le frottement avec les parties molles environnantes, la langue, les joues et les lèvres.

LA RESPIRATION fait circuler autour des dents, l'air ambiant chargé d'oxygène à l'inspiration et de gaz carbonique à l'expiration sans oublier la fumée de cigarette. Ces différents gaz influent sur le comportement électro-chimique des métaux. Nous verrons que l'oxygénation agit à l'inverse de l'azote, du gaz carbonique et de la fumée de cigarette (119).

LES ALIMENTS interviennent par leur composition chimique, leur contact, leur pH. La digestion buccale transforme les aliments et par là même la composition de la salive. Les débris alimentaires stagnent souvent dans les anfractuosités, les interstices, les sillons, et ils y fermentent.

LA FLORE MICROBIENNE saprophyte de la bouche modifie elle aussi les conditions chimiques de la salive; de plus, elle intervient de façon particulière dans la plaque cariogène.

LES VARIATIONS DE TEMPERATURE : en effet, lors de l'inspiration la température de l'air est inférieure à celle de l'air expiré (33°), tandis que la fumée de cigarette est encore plus chaude. La température des aliments varie entre + 4° et + 80° C (46).

LA SALIVE

La salive baigne constamment la bouche. Les glandes salivaires (Parotides, Sous-maxillaires, Sublinguales et Glandes de la muqueuse) en secrètent de 200 à 2.500 ml par jour, soit 700 ml en moyenne. Ses propriétés ont été étudiées par Dubois-Prévost (34), Kopaczewski (61), Dechaume M.,Goguel S. et Poullain P. (22), Goguel (44), Charles J. (20). Nous retiendrons de ces travaux les propriétés qui conditionnent l'électrolyte salivaire et celles qui concernent la physiologie de la dent.

LA SALIVE VIS-A-VIS DE LA DENT.

Leimgruber (69) a défini la salive comme un liquide de caractère cellulaire baignant le tissu dentaire acellulé et lui assigne un rôle essentiel dans la physiologie de l'organe dentaire.
Konig (20) affirme que toute déviation de la salive par rapport à la normale peut amener un déséquilibre de l'ensemble et provoquer la manifestation de troubles pathologiques au niveau de la dent.
Goguel (44) attribue à la salive un double rôle protecteur vis-à-vis de la dent et rappelle la relative immunité des incisives inférieures largement baignées par le flot salivaire en face du nombre de caries apparaissant sur les dents lors de syndromes xérostomiques.
" La salive assure l'intégrité du paradentium par son humidité, son pH, sa réserve alcaline, ses chlorures, ses différentes propriétés antiseptiques. D'autre part, elle protège la dent en déposant sur elle un léger film de mucine inattaqué par les acides et les enzymes protéolytiques, par la mise en jeu de ses différentes fonctions antiseptiques, et en empêchant la solubilité de l'émail par son pH et son pouvoir tampon, par sa viscosité et par la valeur du produit ionique de ses éléments Ca et P assez voisin de celui qui définit la solution saturée de phosphate tricalcique. Ainsi, non seulement la solubilité de l'émail est très réduite, mais encore la dent n'aura pas tendance dans les conditions normales à céder son phosphate tricalcique au milieu extérieur."

La salive joue envers la dent un ROLE NUTRITIF incontestable, elle apporte à l'émail et à la dentine un certain nombre d'éléments minéraux nécessaires à leur formation, soit directement par ses ions Ca et P qui contribuent à la formation du phosphate tricalcique, soit indirectement par les ions contenus dans les aliments ou eaux de boisson; elle contribue aussi au développement de la dent et notamment à la maturation de l'émail.

Johansson (58), Clements (21) ont étudié le ROLE REMINERALISANT de la salive; il dépend de son degré de saturation en ions Ca et P qui dépend lui-même de son pH.

Le ROLE DE LA PHOSPHATASE est apprécié de façon contradictoire; tandis que pour certains auteurs elle jouerait un rôle favorable dans la minéralisation de la dent, pour Egger Lura (35), la carie serait due à une action enzymatique de la phosphatase salivaire.

Le ROLE DE LA MUCINE est lui aussi controversé. Certains attribuent un rôle protecteur au film de mucine qui se dépose à la surface de la dent; d'autres lui reprochent de contribuer à la formation de la plaque cariogène dans les anfractuosités et les zones de rétention non balayées par la mastication. Son influence inhibitrice dans le galvanisme buccal a fait l'objet d'investigations.

Signalons enfin que la salive n'est pas le seul électrolyte intéressé dans la constitution de piles intraorales, le liquide intérieur de l'organisme peut constituer dans certains cas un second électrolyte agissant sur les reconstitutions dentaires par l'intermédiaire de la pulpe dentaire et de l'ivoire (fibrilles de Tomes).

L'ELECTROLYTE SALIVAIRE.

La salive est un électrolyte oxygéné soufré; sous cet aspect elle nous intéresse particulièrement. C'est un milieu liquide contenant des substances organiques: protides (acides aminés, mucines), glucides, lipides, vitamines, hormones, enzymes, sulfocyanures et des substances anorganiques, acides, bases, sels ionisés. Son pH est tamponné et protégé par la réserve alcaline. La salive contient aussi des gaz dissous : CO_2, O_2, N . Les mucoprotéines conditionnent sa viscosité (1,10 à 1,32 poises). La pression osmotique de la salive, comprise entre 0,151 et 0,301 , est très inférieure à celle du plasma sanguin; son potentiel osmotique se situe entre 0,09 et 0,24 tandis

que pour le plasma il est de 0,58. Le pouvoir oxydo-réducteur est égal à 24,5 mV en bouche ouverte et 20,8 mV en bouche fermée selon Vlès. Sa conductivité électrique est de 330 à 340 x 10^{-4} (mhos/cm), sa charge électrique est négative et sa tension superficielle entre 15 à 26 dynes/cm et 69,5 à 71,4 dynes/cm (Kopaczewski, 61)

LE PH SALIVAIRE ET SES VARIATIONS.

La salive est toujours légèrement acide, son pH moyen se situe aux environs de 6,5, variant entre 5,8 et 7,1. Il est maintenu et protégé par les systèmes tampons (20) :

acide carbonique - bicarbonate,
phosphate primaire - phosphate secondaire,
protéines, acides aminés et mucines salivaires,

et par la réserve alcaline qui est de 5,30 ml/100 ml exprimée en CO_2.

Charles J. a étudié les variations du pH salivaire aux différentes heures de la journée, en fonction de la carie dentaire, chez l'homme et la femme et en fonction de l'âge; il conclut qu'il est difficile de définir une valeur moyenne de ce pH et qu'il est préférable de situer sa valeur par rapport aux valeurs limites enregistrées. Sur cette base on peut constater qu'il existe une différence entre les valeurs de pH des enfants, celles des adultes et celles des vieillards.
Les pH acides augmentent la tendance à la dissolution des métaux(17).

Pour Denier de la Tour du Pin (26,31), le courant galvanique modifie le pH et l'acidité provoque une augmentation de galvanisme du fait des phénomènes d'oxydation en milieu acide. Les antibiotiques abaisseraient le pH salivaire en détruisant la flore saprophyte basophyle de la bouche; ainsi, ils augmenteraient le galvanisme buccal.

Lain et Caughron (67), Touraine (124) pensent, à la suite de leurs

constatations cliniques, que toute variation du pH salivaire vers l'acidité ou l'alcalinité augmente le galvanisme buccal de 30 à 50 %.

Schriever et Diamond (108) à l'opposé, ont conclu que, d'après leurs mesures, les valeurs de D.D.P. mesurées ne présentent aucune dépendance vis-à-vis du pH salivaire.

Enfin, dans les zones de salive stagnante, le pH échappe à la régulation parce que ses variations s'éffectuent à l'abri de la plaque cariogène et que les tampons sont vite épuisés dans la faible quantité de salive intéressée.
Le pH interdentaire évolue en fonction de l'état interdentaire.

LES SELS SALIVAIRES.

La nature exacte, très fluctuante, des sels salivaires est mal connue La salive naturelle mixte contient des anions et des cations; nous citerons principalement ceux en rapport immédiat avec l'organe dentaire (Goguel, 44) :

Les cations :	Ca : 5,8 mg/ 100 ml	K : 70 mg/ 100 ml
	Mg : 0,7 mg/ 100 ml	Fe: 0,05 mg/ 100 ml
	Na : 20 mg/ 100 ml	
Les anions :	Cl : 70 mg/ 100 ml	NO_3 : traces
	F : 0,01 mg/ 100ml	SO_4 : 2 à 5 mg/100ml
	PO_4: 4 à 22 mg/100ml	CO_3 : en relation avec CO_2

Leimgruber (69) en cite d'autres et pense que les cations Na^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, sont unis à des anions monovalents Cl^-, HCO_3^-, $H_2PO_4^-$, divalents CO_3^{--}, HPO_4^{--}, tri ou quadrivalents PO_4^{---}, $P_2O_7^{----}$.
La concentration des électrolytes (Ca,Mg,Na,K,Cl,HCO_3,PO_4) varie entre 180 et 200 mg/100ml à pH = 6,7. La force ionique de la salive à pH = 6,5 est de :

0,032 pour les anions et

0,029 pour les cations.

La salive étant la voie d'élimination des métaux, ce rôle émonctoire y amène d'autres ions métalliques (61).

Nous noterons encore la présence de certains ions corrosifs contenus dans la salive (17) : le sulfure d'hydrogène et le sulfure d'ammonium qui corrodent l'argent, le cuivre, le mercure et les autres métaux contenus dans l'amalgame et les alliages dentaires. On rencontre aussi de l'oxygène, des chlorures, des acides: phosphorique, acétique, lactique. Les ions Cl et SCN présentent des affinités néfastes respectivement pour l'acier et l'or.

L'ion SCN jouit d'un pouvoir complexant qui favorise la dissolution du cuivre et même de l'or. Dans la courbe de l'intensité en fonction du potentiel, l'or conserve son palier d'immunité mais l'intensité du courant de pointe augmente avec les éléments pauvres. Le comportement de l'ion SCN par rapport aux stellites est aussi néfaste.

L'ion Cl est plus néfaste vis-à-vis des aciers inoxydables.Il provoque pour les soudures d'or à 20 carats une zone de pseudo-immunité.

La stagnation de la salive provoque la création d'un gradient de concentration, ce qui entraîne une différence dans le potentiel de dissolution des métaux entre les deux zones, la zone irriguée étant cathodique par rapport à la zone non irriguée.

L'aération différentielle va de pair avec la différence d'irrigation puisque la salive transporte l'oxygène. L'exposition à l'air confère un caractère cathodique qui entraine la corrosion des métaux aux collets des dents et dans les zones de rétention (123). Une étude expérimentale a été faite par Stegeman à propos de la fumée de ciga-

rette (119). Les électrolytes dans la bouche varient d'heure en heure, attaquent tout élément métallique pour déterminer des D.D.P..
Farrel (39), Reinhard, Solomon et Goltz (95) ont montré que les potentiels mesurés dans la salive d'un même individu, prélevée à des moments différents de la journée ou dans la salive de personnes différentes ne sont pas égaux.

Les alliages dentaires

Les électrodes, deuxième élément de la pile, autrement dit les restaurations métalliques par nous apportées, présentent à leur tour de nombreuses hétérogénéités de différentes natures et de causes différentes. A l'exception des aurifications à la feuille et de quelques inlays en or à 24 carats, nous n'installons pas en bouche de métaux purs, mais des alliages composés de plusieurs métaux différents; de ce fait, ils sont plus ou moins précieux, plus ou moins complexes, et nous les voulons d'un comportement électrochimique noble pour être stables dans l'électrolyte où nous les installons. Cette stabilité est le reflet de leurs propriétés électrolytiques qui dépendent immédiatement de leur caractère précieux, de leur hétérogénéité d'ensemble ou de surface et de leur aptitude à la passivation.

L'hétérogénéité des alliages métalliques peut provenir de plusieurs facteurs en rapport avec :

1º/ L'alliage lui-même par:

- le nombre de métaux entrant dans sa composition et leurs caractéristiques,
- sa constitution en solution solide, solution solide limitée, mélanges eutectiques ou péritectiques,
- sa structure, type de cristallisation, formation des grains, ségrégation;

2º/ Les traitements subis au cours de l'usinage et du façonnage qui peuvent déterminer :

- des phénomènes de durcissement,
- l'apparition de porosités,
- l'inclusion d'impuretés,

- des changements de structure lors des soudages,
- la création de tensions internes et de contraintes,
- des phénomènes d'écrouissage par traitement à froid;

3°/ Le travail que supporteront les pièces et qui peut:
- engendrer des modifications structurales,
- créer des tensions internes et des contraintes,
- provoquer des phénomènes de fatigue;

4°/ La morphologie donnée aux pièces de reconstitution et qui pourra constituer des hétérogénéités spaciales.

Les alliages dentaires sont:
- des alliages à base de métaux précieux,
- des aciers inoxydables, des alliages Cr-Co et Ni-Cr,
- des amalgames.

LES ALLIAGES D'OR

Pour différents motifs d'ordre mécanique, les alliages à base d'or contiennent de nombreux métaux correctifs. Les formules de composition de ces alliages sont, en général, tenues secrètes par les fabricants; elles sont cependant assez voisines les unes des autres dans chaque type d'alliage et répondent à certains critères. Nous rapporterons sur les tableaux suivants quelques compositions types d'alliages d'or d'après Skinner et Phillips (110).

Limites de composition des alliages d'or dentaires pour coulées en % de poids. (Tableau 24/2 p.392/24) (110)

Type	Or	Ag	Cu	Pd	Pt	Zn
A	79-92,5	3-12	2-4,5	0-0,5	0-0,5	0-0,5
B	75-78	12-14,5	7-10	1-14	0-1	0-5
C	62-78	8-26	8-11	2-4	0-3	1
D	60-71,5	4,5-20	11-16	0-5	0-3,5	1-2

A ces métaux sont quelquefois ajoutés: Iridium, Indium, Nickel et Cadmium.

Compositions limites des fils dentaires en alliages d'or en % de poids (Tableau 32/1 p.32/565) (110)

Echantillons n°	Or	Pt	Pd	Ag	Cu	Ni	Zn
1	25-30	40-50	25-30	-	-	-	-
2	54-60	14-18	1-8	7-11	11-14	0-1	0-2
3	45-50	8-12	20-25	5-8	7-12	-	0-1
4	62-64	7-13	0-6	9-16	7-14	0-2	0-1
5	64-70	2-7	0-5	9-15	12-18	0-2	0-1
6	56-63	0-5	0-5	14-25	11-18	0-3	0-1
7	10-28	0-25	20-37	6-30	14-21	0-2	0-2
8	-	0-1	42-44	38-41	16-17	0-1	-

Composition des soudures dentaires à l'or en % de poids (Tableau 33/1, p. 574/35) (110)

Soudure n°	Or	Ag	Cu	Zn	Sn
A	65,4	15,4	12,4	3,9	3,1
B	66,1	12,4	16,4	3,4	2
C	65	16,3	13,1	3,9	1,7
D	72,9	12,1	10	3	2
E	80,9	8,1	6,8	2,1	2

Il apparaît tout de suite que la composition d'un alliage d'or destiné à un usage dentaire comporte de 3 à 7 ou 8 métaux différents et, à côté des métaux précieux comme l'or, le platine ou le palladium, nous en trouvons de moins précieux comme l'argent et d'autres franchement communs comme le cadmium, le zinc et l'étain.

Le CARACTERE PLUS OU MOINS PRECIEUX des alliages ainsi composés, dépend des proportions relatives de leurs constituants et, plus l'alliage comportera d'éléments précieux, plus il le sera lui-même. Ainsi on admet que tout alliage d'or doit contenir au moins 50 atomes % d'or (Pierson,91). D'autre part, l'aptitude de l'alliage à l'homogénéisation est certainement plus importante (17).

D'une façon générale, du point de vue de leur CONSTITUTION, à l'exception des soudures d'or, les systèmes eutectiques sont peu employés dans les alliages pour usage dentaire à base de métaux précieux (110). La plupart des alliages d'or utilisés en dentisterie sont du type solution solide; il n'en demeure pas moins qu'au cours des différentes manipulations, qui ne sont pas parfaites, bien que l'on s'efforce toujours de respecter les indications du fabricant, on se trouve souvent devant des alliages dont la constitution est

une solution solide limitée et qui comportent plusieurs phases intermédiaires différentes qui ne sont pas solubles dans l'état solide.

Nous serons amenés à provoquer des phénomènes de modification (durcissement thermique) en vue d'augmenter les qualités mécaniques de l'alliage, en particulier, par exemple, pour les alliages au palladium.

Nous provoquerons souvent au cours de nos opérations de soudage des phénomènes de grossissement de grains, de ségrégation, de structures dendritiques et la formation de pores par ébullition des métaux vils (le Cd par exemple).

Nos coulées comportent souvent des porosités par inclusion de gaz (absorption de gaz par le Pd). Au cours de l'usinage et du façonnage de nos pièces nous créons des tensions internes et des phénomènes d'écrouissement dans nos métaux. Stegeman (119) évalue que l'avilissement de métaux précieux peut aller jusqu'à 30 mV pour une courbure, 50 mV pour un coudage et 150 mV au moment de la rupture du métal. Les éléments locaux qui se forment ainsi sont plus ou moins vite compensés (voire de 24 heures à plusieurs jours). Dans un alliage Or-Cu à 20 carats, au cours du refroidissement, les cristaux premiers formés seront riches en Or et les cristaux derniers formés seront riches en Cu (123).

Pour les alliages binaires à base d'or, suivant la solubilité des métaux correctifs, nous obtiendrons différents composés:

avec le Cd : Au Cd - $Au_5 Cd_8$ - $Au Cd_3$

avec le Cu : $Au_3 Cu$ - Au Cu - $Au Cu_3$

avec le Zn : $Au_3 Zn$ - Au Zn - $Au_5 Zn_8$ $Au Zn_3$

LES ACIERS INOXYDABLES ET LES ALLIAGES Cr-Co

COMPOSITION.

Les aciers inoxydables dentaires sont des aciers au Ni-Cr contenant en plus,du fer, du carbone et quelques autres métaux en petite quantité. Les alliages Cr-Co appelés plus couramment stellites sont composés en gros de 2/3 de Co et 1/3 de Cr auxquels s'ajoutent la plupart du temps un peu de molybdène, de tungstène ou d'autres métaux en petite quantité.

LA CARACTERISTIQUE PRINCIPALE DE CES ALLIAGES EST DE CONTENIR DU Cr QUI LES REND RESISTANTS A LA TERNISSURE ET A LA CORROSION PAR SON EFFET DE PASSIVATION.

Nous avons relevé quelques formules de composition de ces différents alliages.

ACIERS INOXYDABLES :

- Formule rapportée par Brugirard (17):

Cr	:	18%	Mn	:	Traces
Ni	:	8%	Si	:	"
C	:	0,08 à 0,20%	Mo	:	"

- Formules rapportées par Rigal (102):

Rémanit	:	Cr	:	19	Wipla :	Fe	: 60
		Ni	:	81		Cr	: 18
						Ni	: 18
						Co	: 14

- Formule rapportée par Caïtucoli et Dufrèche (140):

Inconel	:	Fe	:	6
		Cr	:	14
		Ni	:	80

ALLIAGES Cr-Co:

Formules rapportées par Brugirard (17):

	Co	Cr	Ni	Mo
Vitallium	65	30		5
Durallium	60	30		10
Croform	60	30		5
Wisil	66,2	27		4,5
Ticonium	30	27	35	6

Pour le Vitallium nous rapporterons deux autres formules types légèrement différentes (102, 140):

	Co	Cr	Ni	Fe	Si	Mn	Mo	C
Rigal	62,5	30,8		0,7	0,3		5,1	0,4
Caïtucoli et Dufrèche	64	27	2	2	0,25	0,3	5	0,3

Nous citerons encore les publications de Bennejeant(6), Docq (32) Rey H (97), Saint Sauveur (106), Skinner et Phillips (110), Morral (82), où nous avons trouvé de nombreuses autres formules que nous ne rapporterons pas; leur comparaison fera ressortir quelques légères différences suivant les époques et les marques des fabricants.

CONSTITUTION.

Aciers inoxydables.

Les aciers Ni-Cr austénitiques 18/8 de Krupp, lorsque la teneur en C reste faible, et après une hypertrempe entre 1050 et 1150 ° C se présentent sous forme d'une solution solide homogène et à l'examen microscopique, leur structure présente des grains relativement réguliers.

Dans les alliages Fe-Ni-Cr, le Ni élargit le domaine d'existence de

l'austénite et augmente la stabilité. Si les proportions de Ni et de Cr sont convenablement choisies, celui-ci reste austénitique à la température ordinaire (Docq, 33).

Alliages Cr-Co

D'après DOCQ M.(32), la constitution des alliages Cr-Co est avant tout une solution solide de 70% de Co et de 30% de Cr, toute variation dans cette proportion sans substitution par des métaux comparables a généralement pour résultat de diminuer leur résistance à l'oxydation.

FUCHS et PUSZAR (42) ont étudié la structure des alliages Cr-Co sur 5 échantillons différents (Vitallium, Wisil, Virilium, Virilium X, Durallium) et ont observé des structures hétérogènes contenant au moins deux phases reconnues.
Cette structure hétérogène se formerait pendant le refroidissement des cristaux, depuis la structure homogène fondue jusqu'à la fin de la cristallisation; les premiers cristaux formés contiennent la plus forte teneur en Co et au fur et à mesure du refroidissement, les cristaux évoluent vers une structure dendritique et contiennent de moins en moins de Co.

La microstructure caractéristique d'un alliage Cr-Co est dendritique et noyautée par des îlots de carbure. Il est difficile de diriger le type de formation de carbure (110). Le cobalt est stable avec une structure ϵ hexagonale compacte au dessous de 417°C; au dessus de cette température c'est la structure α cubique à faces centrées qui est stable. La transformation est associée avec un hystérésis considérable et est aussi dite "sluggish", parce que beaucoup de la phase α des températures élevées est retenue pendant la refroidissement. Cependant la phase α retenue peut se transformer en phase ϵ par des déformations plastiques à la température ambiante (Bibby et Gordon Parr, 9), mais elle est lente et rarement complète; il n'est donc pas sur-

prenant de trouver des structures polyphasées dans de nombreux alliages binaires, alors même que les diagrammes d'équilibre laissent prévoir une structure homogène. Ainsi tous les alliages Cr-Co étudiés comportaient plusieurs phases bien que la structure ϵ doive exister seule jusqu'à 12% de Cr à la température ambiante (Wagner, Stewart, Dunleavy, Hall, 135).

D'après ACHARIA, FREISE et GREENER (1), le diagramme d'équilibre Cr-Co indique que le domaine des solutions solides terminales est fort large. Ses deux phases terminales riches en Co (α cfc et ϵ hc) sont compactes. A 1310° C le Co α peut dissoudre jusqu'à 41% de Cr. Suivant la vitesse de refroidissement, la transformation de la phase α en phase ϵ peut se faire par diffusion comme l'indique le diagramme d'état ou selon le mode martensitique. Un des traits essentiels du diagramme est l'existence d'une phase δ intermédiaire; il s'agit d'une solution solide partiellement ordonnée de structure quadratique.

Les coulées du Cr-Co sont sujettes aux mêmes types de porosités que les alliages d'or et le risque d'inclusion d'oxydes ou d'autres impuretés pendant la coulée est beaucoup plus grand. Si la température de la coulée est très élevée, une réaction peut intervenir entre le métal et le revêtement et causera un mauvais état de surface du produit coulé.
Les stellites dentaires durcissent très facilement par le travail à froid.
Les soudures pour les aciers inoxydables doivent être faites à des températures relativement basses afin de réduire au minimum les effets de la précipitation du carbure de chrome et d'éviter un adoucissement qui détruit les caractéristiques mécaniques souhaitées; pour cela on utilise des soudures à l'argent-palladium ou des soudures à l'or d'un titre de 10 carats; à ce titre, les soudures sont très sensibles à la corrosion.

LES AMALGAMES

L'amalgame de cuivre est tellement instable qu'il est sorti de la pratique dentaire; nous traiterons donc de l'amalgame d'argent, le matériau le plus largement utilisé pour les obturations et les reconstitutions dentaires.

COMPOSITION.

Pour l'alliage (avant adjonction du mercure), deux formules types sont à retenir: l'une est française, l'autre américaine; elles ne diffèrent en fait que par la proportion de cuivre.

Métal	Vieillefosse et Roussin (133) en %	Skinner et Phillips (110)	
		Moyennes en %	Limites en %
Ag	67 à 70	69,4	66,7 à 74,5
Sn	25 à 27	26,2	25,3 à 27
Cu	0,5	3,6	0 à 6
Zn	0 à 1,7	0,8	0 à 1,9

L'alliage est donc essentiellement constitué par un alliage Ag-Sn auquel sont ajoutés un peu de Cu et de Zn avant d'être amalgamé à du mercure.

CONSTITUTION.

L'alliage Ag-Sn présente deux phases α et β qui sont des solutions solides de Sn dans l'Ag, et une phase γ, composé intermétallique Ag_3Sn, qui est une composition définie contenant 73,15 %

d'Ag et 26,83 % de Sn. Si la teneur en Sn est supérieure à celle de la phase γ, il apparait un eutectique de Sn et de phase γ ayant la phase γ comme cristal primaire.

Le Cu et le Zn remplacent une partie de l'Ag et le Cu remplace l'Ag dans la phase γ pour former Cu_3Sn.

Lorsque l'on ajoute le Hg, le constituant principal des copeaux d'alliage Ag-Sn qui réagit avec le Hg est la phase γ pour produire deux phases nouvelles γ_1 et γ_2. La phase γ_1 (Ag_2Hg_3) cristallise suivant une structure cubique centrée, la phase γ_2 est une solution solide SnHg ayant un réseau hexagonal (Fairhurst et Ryge, 38). La réaction ressemble finalement à une formation péritectique du fait que les deux phases contenant du mercure créent une enveloppe autour des particules d'alliage, qui ralentit la réaction ultérieure en empêchant la diffusion de Hg libre vers les copeaux (ou phase γ); la réaction peut être symbolisée de la façon suivante :

$$\gamma + Hg \longrightarrow \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma \ (\gamma + Sn) \qquad \gamma\text{-Sn} : \text{eutectique.}$$

Lors de la formation des phases $\gamma_1 + \gamma_2$, ces phases cristallisent et grandissent sans doute en formation dendritique.

LA MASSE DE L'AMALGAME A FINALEMENT UNE STRUCTURE COMPOSITE CONSTITUEE PAR LE COEUR (PHASE γ) ET UNE MATRICE ($\gamma_1 + \gamma_2$).

Il est intéressant de remarquer que les amalgames durcissent lentement, les réactions entre le mercure et l'alliage se poursuivent indéfiniment, et il est hors de doute que les conditions d'équilibre entre eux ne sont jamais atteintes complètement. Pendant la préparation d'un amalgame, chaque particule de l'alliage doit être mouillée par le mercure sans quoi il se forme une masse sèche et granuleuse dont la surface rugueuse et piquée favorise la corrosion.

Enfin, au cours du polissage, il est important d'éviter

une production de chaleur qui entraine à partir de 60° C une libération de Hg sous forme de Sn_8Hg et l'apparition de zones sujettes à corrosion (Caïtucoli,140).

PROPRIETES ELECTROLYTIQUES DES ALLIAGES DENTAIRES

Les phénomènes électrolytiques reposent avant tout sur la force électromotrice des métaux. Nous trouverons sur le tableau de la page suivante, avec leur potentiel d'électrode, une classification des ions susceptibles d'être rencontrés en bouche.

POTENTIELS DES ALLIAGES.

On ne peut appliquer directement aux alliages les résultats obtenus avec les corps purs. Cependant, on trouve mathématiquement et expérimentalement que, dans toute l'étendue du domaine de miscibilité et lorsque la D.D.P. de chacun des composants des alliages est appréciable, c'est le métal non précieux qui détermine le potentiel de l'alliage (Rheinwald, 99).

Le potentiel de dissolution d'un alliage soit-disant homogène dépendra en grande partie de son degré d'homogénéité. Les piles locales formées entre d'éventuels cristaux dissemblables influenceront le potentiel global (Torfs, 123).

Tableau de Potentiels

(Tableau 19/1, p. 308/19) (110)

(L'électrode étant considérée comme générateur externe.)

METAUX	IONS	POTENTIELS D'ELECTRODE VOLTS
Or	Au +	+ 1,50
Or	Au +++	+ 1,36
Platine	Pt ++	+ 0,86
Palladium	Pd ++	+ 0,82
Mercure	Hg ++	+ 0,80
Argent	Ag +	+ 0,80
Cuivre	Cu +	+ 0,47
Bismuth	Bi +++	+ 0,23
Antimoine	Sb+++	+ 0,10
Hydrogène	H +	0,00

METAUX	IONS	POTENTIELS D'ELECTRODE VOLTS
Plomb	Pb ++	- 0,12
Etain	Sn ++	- 0,14
Nickel	Ni ++	- 0,23
Cadmium	Cd ++	-0,40
Fer	Fe ++	- 0,44
Chrome	Cr ++	- 0,56
Zinc	Zn ++	- 0,76
Aluminium	Al +++	- 1,70
Sodium	Na +	- 2,71
Calcium	Ca ++	- 2,87
Potassium	K +	- 2,92

LUKSICH G. et CONFORTI G. (74) ont étudié in vitro par rapport à une électrode en platine , estimée par les auteurs plus inerte que l'électrode au calomel, le potentiel de quelques alliages couramment utilisés en dentisterie, dans une solution physiologique à pH = 5,8, et ont relevé les valeurs suivantes figurant au tableau de la page 34.

Alliages à l'essai	mV
Or à 1000/1000	71
Or à 917/1000	57
Luchinor	54
Blancor	59
Or Ney A1	62
Or Ney B2	32
Degulor B	69
Degulor I	13
Degulor M	115
Neocast 3	51

Alliages à l'essai	mV
Protor 3	112
Jelenko 7	46
Argentor 800/1000	92
Amalgame Degussa 670	602
Pallorag 33	37
Stellite R	580
Inox Cigno	160
Inox Leone	141
Inox Svedia S S S 3	354

SOLUBILITE DES METAUX DANS LA SALIVE.

La solubilité des métaux dans la salive dépend de leur solubilité spécifique qui est déterminée par la tension de dissolution du métal, son potentiel électrique et le pH du solvant.

- l'or et le platine sont pratiquement insolubles,
- l'argent est corrodé sous forme de sulfures, solubilisés ultérieurement.
- le cuivre, le plomb, l'étain ont une tension de dissolution très élevée et par conséquent, leur dissolution dans la salive est possible (Rheinwald, 101).

TORFS (123), dans un travail important, a étudié l'évolution du potentiel des métaux dentaires en fonction du temps dans divers milieux synthétiques : salive (solution de Muhler et Swenson), liquide osseux (solution de Tyrode) et une solution de NaCl à 0,25% contenant 1% d'acide acétique; l'électrode de référence était l'électrode normale au Calomel. Les résultats obtenus sont reportés sur le tableau suivant.

Tension de dissolution en mV A par rapport à l'électrode N au Calomel

MATERIAUX	Salive synthétique pH: 6 - 8 37,2° C		Liquide osseux synthétique pH: 7,4. 37,2° C	
	Sans oxy.	Oxydat.	Sans oxy.	Oxydat.
Amalgame 67 (Orodent)	875	834	1040	1004
Amalgame Standalloy 10 Z (Degussa)	707	690	965	940
Amalgame Splitter 70 (Walter u Schmit)	702	695	853	766
Amalgame Solila (De Trey)	650	640	850	650
Amalgame Sta 68	592	576	998	907
Amalgame Silber Folien (Degussa)	575	474	373	337
Amalgame Standalloy (Degussa)	530	530	510	490-515
Palliag W	393		100	92
Palliag Lot 38	383		202	212
Palliag Lot 1	338		52	37
Degulor B	331		12	33
Degulor Lot 1	318		44	35
Soudure or 18 carats (Schöne)	318		45	7
Or 22 carats + 2 % Pt	300		20	107
Degulor Lot 11	245		40	45

Ce tableau met en relief la forte tension de dissolution des amalgames et la tension plus faible des alliages précieux, en particulier de l'or à 22 carats, la tension de dissolution plus faible lorsqu'il y a oxydation.

BRUGIRARD a étudié dans sa thèse (17) le comportement électrochimique des alliages dentaires. Son étude est basée sur l'évolution du potentiel naturel en fonction du temps et sur le tracé des courbes globales de polarisation. La solution d'essai était de la salive artificielle à pH = 6,7. Nous rapportons ses conclusions :

1°) Métaux purs :

- L'or et le platine sont en état d'immunité et ne se corrodent pas.
- L'argent est en état de pseudo immunité; une légère attaque est théoriquement possible en solution aérée.
- Le palladium et le cuivre se passivent facilement mais le courant de passivation dans le cuivre devient élevé.
- Le zinc et le cadmium sont deux éléments pauvres avec forte tendance à la corrosion.

2°) Les alliages très riches en or et ne contenant que des éléments nobles (Au, Pt, Pd, Ag) et peu de Cu ont un comportement proche de celui de l'or; ils sont dans un état de pseudo immunité. Le courant de corrosion est très faible dans ce domaine ($< 2\mu A/cm^2$, ce qui correspond pour l'or à un taux de corrosion $< 0,5\ \mu/an/cm^2$).

3°) L'addition d'éléments pauvres, Zn, Cd, Cu provoque l'apparition de pics de courants dans le palier d'immunité ou la chute initiale de potentiel, ce qui provoque une corrosion plus forte.
L'alliage soudure à 20 carats possède un petit pic indiquant une faible tendance à la corrosion (présence de Cd dans l'alliage).
Les courants de corrosion restent faibles ($< 10\ \mu A/cm^2$). Les potentiels naturels évoluent et se stabilisent. Les courbes potentiel-temps montrent l'établissement d'une passivité stable pour tous les alliages à base d'or. Les potentiels prennent des valeurs proches (écarts inférieurs à 50 mV).

4°) L'étude des alliages Au-Cu et Au-Ag ont montré le rôle déterminant de l'or et le rôle néfaste du Cu même pour une teneur inférieure à 5%.

5°) L'acier et le stellite ont une bonne résistance électrochimique

leur courant de passivation est de l'ordre de grandeur des pics des alliages d'or.

6°) Les amalgames ont une certaine tendance à la passivation mais leur courant de passivation élevé indique une dissolution importante. La résistance à la corrosion de l'amalgame d'Ag augmente avec sa teneur en Ag.

7°) Les variations de l'acidité de la salive ($4 < pH < 8,5$) ont une faible influence sur le potentiel des alliages riches en or.
La tendance à la dissolution ne devient importante que pour les $pH < 5$.

8°) Influence défavorable de la surchauffe des échantillons coulés.
La surchauffe provoque la naissance de régions anodiques.
Effet légèrement néfaste d'un polissage grossier.

L'électrogalvanisme buccal

" Les organismes vivants possèdent des caractéristiques bioélectriques correspondant à une réalité. Il existe des champs électriques organisés; ceux-ci peuvent être étudiés sans effraction traduisant les différentes activités des organes en fonction normale." (Denier de la Tour du Pin, 24).

Le potentiel de repos d'une cellule vivante est en moyenne de 3 à 4/100° de volt; l'on sait que toute excitation sur cette cellule détermine un potentiel d'action ou variation négative; que sur un groupe de cellules, un muscle par exemple, on enregistre un électromyogramme et que, à l'échelle des organes, des variations spontanées de potentiel électrique permettent l'enregistrement d'électrocorticogrammes, d'électroencéphalogrammes, d'électrocardiogrammes; la valeur de ces ondes est de l'ordre du mV. (Rougier et Fabre, 105)

Des phénomènes semblables se produisent évidemment au niveau de la bouche et des potentiels peuvent être enregistrés; ils correspondent à l'activité des organes différents qui y sont logés ou qui l'entourent (muscles, vaisseaux, nerfs, glandes) pour lesquels les potentiels sont de l'ordre de 5 à 20 mV. Rheinwald (101), incluant les dents dans la mesure, a relevé des valeurs de 50 à 100 mV, tandis que Denier de la Tour du Pin dit avoir mesuré des potentiels s'étalant de 150 à 300 mV (28).

Nous avons procédé à quelques mesures et nous avons enregistré sur une même personne, en l'absence de toute inclusion métallique, les potentiels suivants: Schéma n°1 page 40:

- entre 2 dents saines : 50 mV
- entre 1 cavité de carie et la langue : 100 mV
- entre 1 cavité de carie et une dent saine : 150 mV

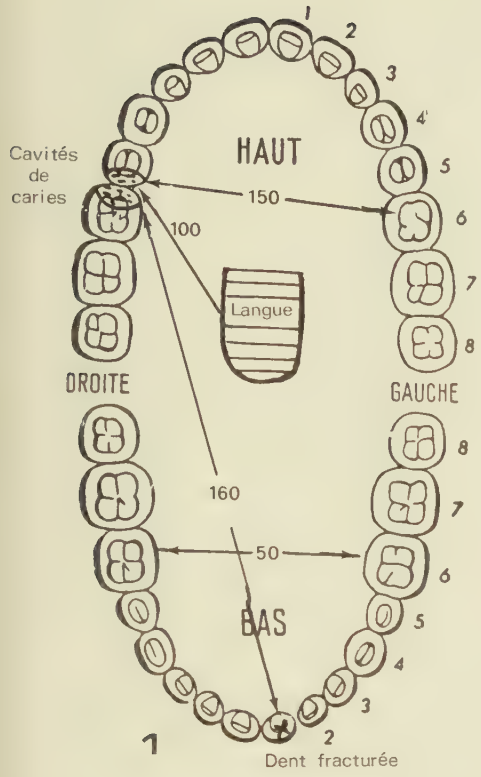
- entre 1 cavité de carie et l'ivoire nu
  d'une dent fracturée : 160 mV

Ces mesures ont été conduites sans précaution particulière, ce qui explique les fortes valeurs recueillies. En effet des piles se sont constituées par l'application des électrodes sur les dents humides.

Les valeurs sont autres si l'on pratique ces mesures entre pièces métalliques de restaurations dentaires. La liste des auteurs ayant pratiqué de telles mesures est longue et nous y reviendrons plus loin. Nous avons pour notre part pratiqué des mesures sur huit patients et avons recueilli des valeurs allant de 20 à 500 et 600 mV. Ces mesures sont présentées sur les schémas numérotés de 2 à 8 (pages 40 et suivantes). Les conditions électriques de la bouche sont donc changées. Les D.D.P. que nous enregistrons sont plus élevées que normalement. Pour la plupart des auteurs, nous sommes en présence de véritables batteries galvaniques.

L'électrogalvanisme dans la bouche est de connaissance très ancienne; Solomon et Reinhard (112) rapportent l'observation d'un intérêt historique faite par Sulzer en 1767. Contemporain de GALVANI et de VOLTA, il avait observé que si l'on plaçait dans la bouche deux pièces de métaux différents l'une au dessus et l'autre au dessous de la langue et que l'on mettait en contact leur extrémité libre, on percevait un goût particulier qui est l'évidence même d'une activité électrique.
Ainsi donc, deux métaux différents introduits dans la bouche constituent avec les électrolytes de l'organisme (que ce soit la salive ou le liquide intérieur des cellules et des tissus) une véritable batterie galvanique; nous assistons à des phénomènes d'électrolyse qui se manifestent de façon plus spectaculaire si ces pièces sont introduites plus profondément dans l'organisme. Venable, Stuck et Beach (132) l'ont montré dans leurs expérimentations sur le chien. Après avoir enfoui dans l'os de l'animal des pièces d'ostéosynthèse en

(suite du texte page 44)



SCHEMA N° 1

Monsieur S.L.

Mesure effectuée au pont de Wheatstone.

Pas de restauration métallique.

2 cavités de carie
1 dent fracturée.

SCHEMA N° 2

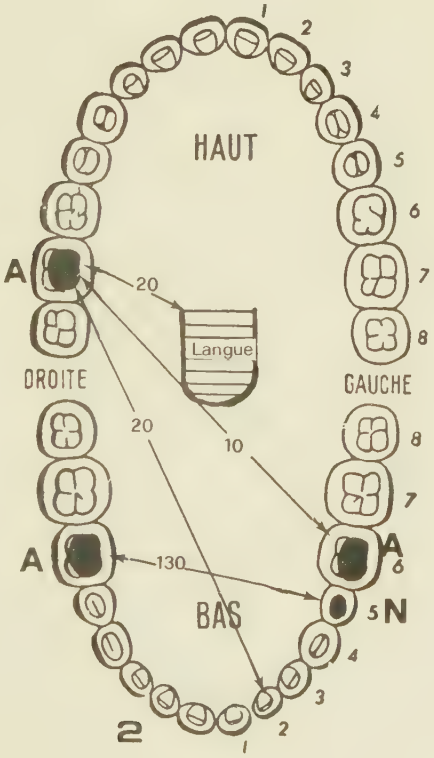
Madame C.

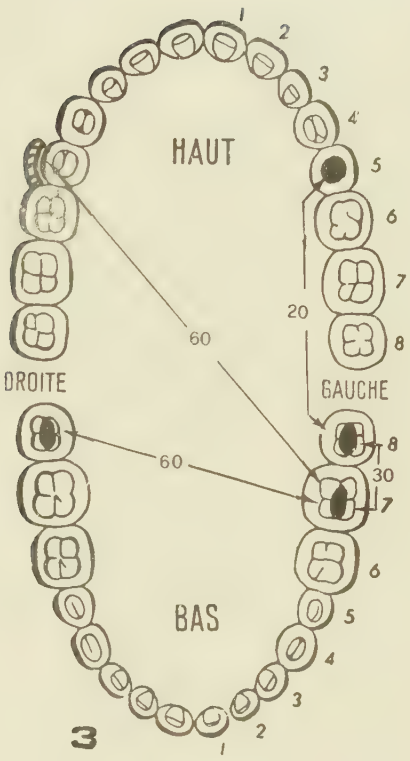
Mesure effectuée au pont de Wheatstone.

● Amalgame

A: ancien

N: nouveau





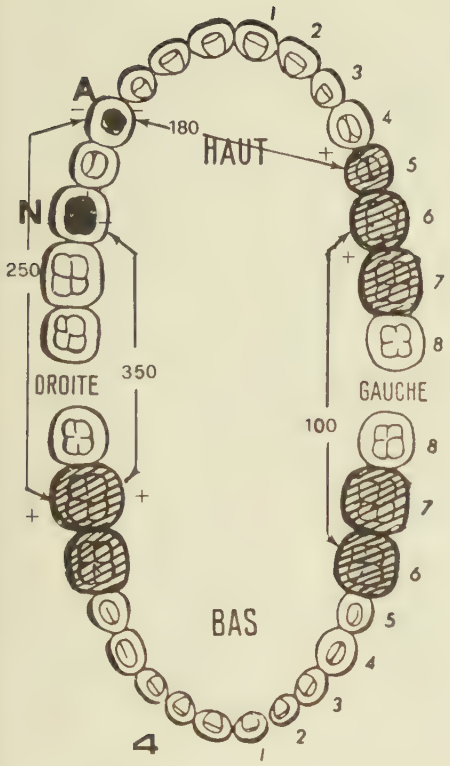
SCHEMA N° 3

Monsieur D.

Mesure effectuée sur millivoltmètre électronique METRIX.

Crochet or

● Amalgame.



SCHEMA N° 4

Madame J.L.

Mesure effectuée sur millivoltmètre électronique METRIX.

Or

Amalgame

A: ancien

N: nouveau.

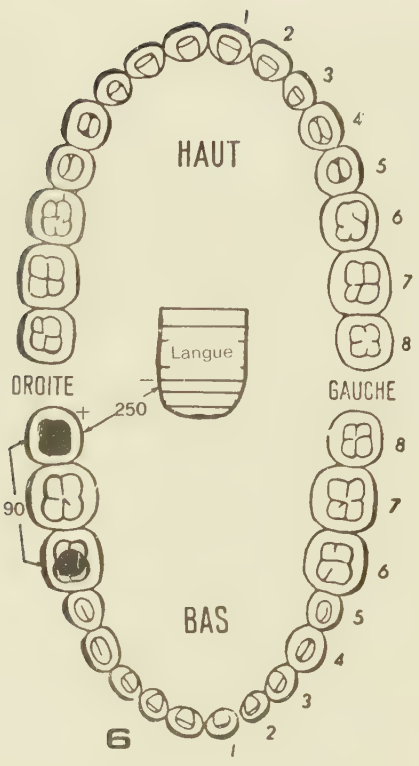
SCHEMA N° 5

Monsieur C.

Mesure effectuée au pont de Wheatstone.

Amalgame

Cavité de carie.

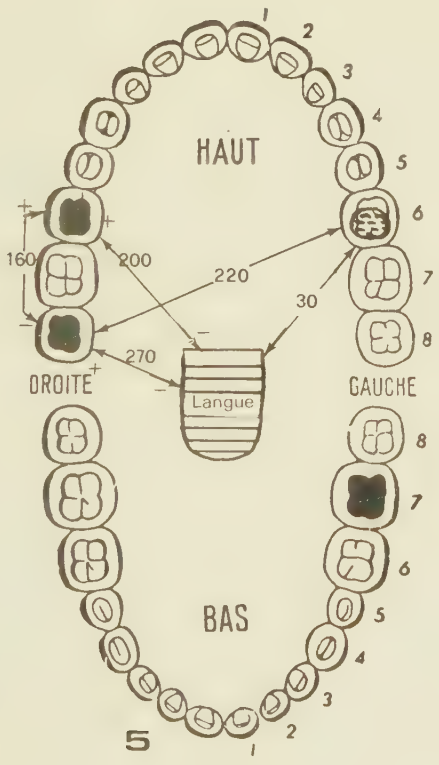


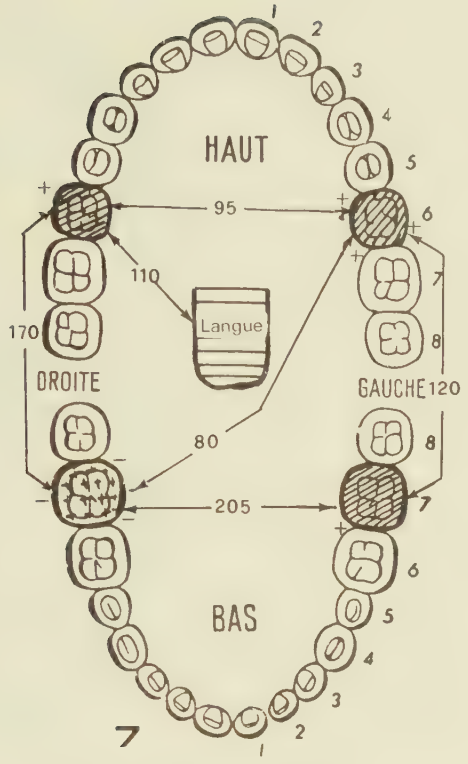
SCHEMA N° 6

Monsieur P.

Mesure effectuée au pont de Wheatstone.

Amalgame.



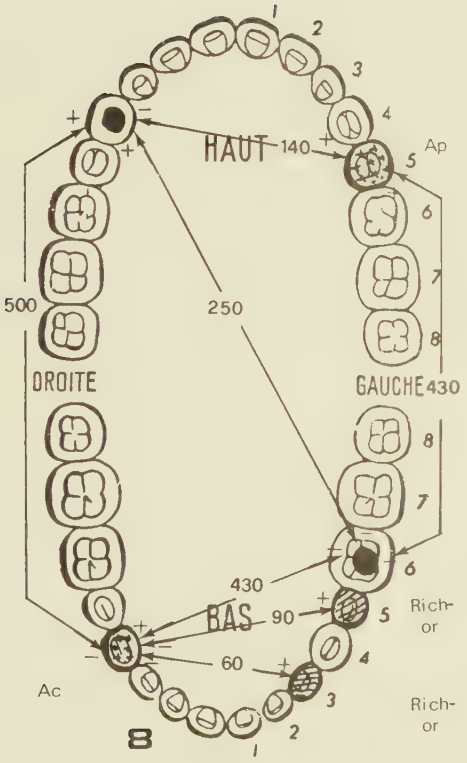


SCHEMA N° 7

Madame W.

Mesure effectuée sur millivoltmètre électronique METRIX.

- Amalgame
- Or
- Acier



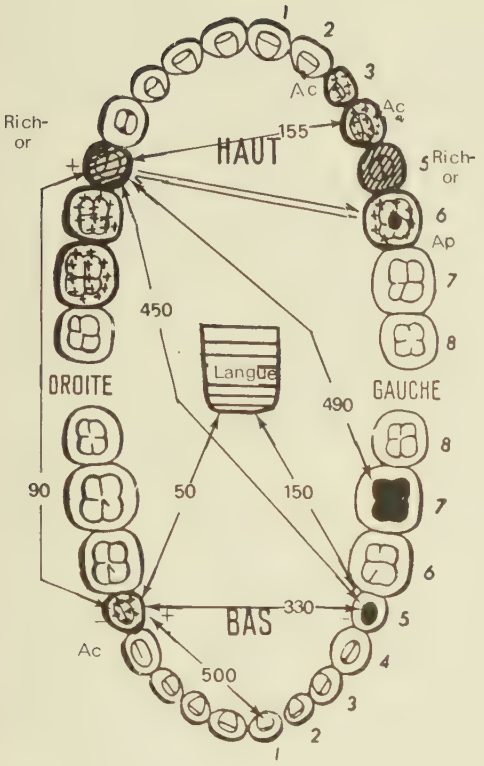
SCHEMA N° 8

Monsieur B.

Mesure effectuée sur millivoltmètre électronique METRIX.

- Amalgame
- Ap : métal AP
- Ac : Acier
- Or

Ce malade présente une plaque de leucoplasie sur la muqueuse de la face interne de la joue droite correspondant à la couronne en acier où nous trouvons la D.D.P. la plus forte. Le port d'un appareil en métal aggrave les symptômes de galvanisme; un appareil en résine est mieux supporté bien que les manifestations gingivales persistent.



SCHEMA N° 9

Monsieur E.W.

Mesures effectuées au pont de Wheatstone et sur millivoltmètre électronique METRIX.

- Ac : Acier
- Ap : Métal AP
- Amalgame
- Or

D.D.P. entre les dents 15 et 26 :

- mesurée sur l'obturation en amalgame : 240 mV
- mesurée sur la couronne en AP non scellée : 55 mV
- mesurée sur la couronne en AP scellée 80 mV

D.D.P. entre les dents 24 et 26 : 110 mV, la couronne de la dent 26 étant non scellée et le contact rompu entre les dents 24 et 25.

Intensité mesurée entre deux points métalliques non en contact: le microampèremètre électronique METRIX indique, immédiatement à la fermeture du circuit, une forte intensité qui chute d'abord très rapidement puis ensuite plus lentement jusqu'à 0.

métaux différents, ils ont par des examens chimiques, histologiques et radiologiques mis en évidence la présence d'ions métalliques en quantités anormales dans les biopsies des tissus prélevés au voisinage de ces pièces. Lain (66), l'un des premiers auteurs américains qui ait tenté d'éclaircir le problème du galvanisme buccal, a lui aussi montré par spectromètrie, sur des biopsies prélevées au niveau des lésions galvaniques orales, des quantités anormales de divers métaux électropositifs. Nous citerons encore les travaux de Burdairon (139) sur la corrosion du tantale dans l'os et la diffusion du Ta^{182} dans les tissus.

Lain (64), Eintracht (36), Lain, Schriever et Caughron (68), Denier de la Tour du Pin (27,31,28,26), Inovay et Banoczy (55,54), Schriever et Diamond (108), Torfs (123), Solomon, Reinhard et Goodale (113), Solomon et Reinhard (111,112), Solomon, Reinhard et Goltz (114), Schoonover et Souder (107), Reed et Willman (94), Rheinwald (99), Stawinsky et Wojciak (117), Stegeman (118), Mumford (84), Block et Beckstroem (11) ont étudié le galvanisme buccal et tenté de faire le point sur ce sujet. Certains ont porté leur attention sur les manifestations pathologiques et leur fréquence, d'autres sur l'aspect physique du problème, d'autres ont essayé de pratiquer des mesures; enfin certains ont mis en relief le problème, sur lequel l'unanimité n'est pas encore faite, de l'étiologie galvanique ou non des lésions observées.

QUELLE EST DONC LA SITUATION ?

Un ou plusieurs alliages différents sont installés dans la bouche sous forme de restaurations ou de prothèses dentaires. Quel que soit le cas, la pile galvanique s'établit et une D.D.P. est mesurable conformément à la Théorie d'Evans (Denier de la Tour du Pin, 27, 28, 26) .

COMMENT PEUT ETRE CONSTITUEE LA PILE ?

UNE SEULE RESTAURATION.

Que ce soit un alliage ou un métal pur, la micropile (ou élément local) s'établit du fait des hétérogénéités du métal lui-même, de celles consécutives à l'électrolyte, d'aération différentielle, ou bien du contact de la pièce métallique avec deux électrolytes différents, la salive et le liquide intérieur.
Le cas d'une couronne scellée sur une dent porteuse d'une restauration métallique est particulier car, qu'il y ait ou non contact entre les deux métaux, le ciment n'est pas un isolant, mais un conducteur de type secondaire (Inovay et Banoczy, 55,54. Phillips, Schnell et Phillips, 144,145,146,147)

DEUX OU PLUSIEURS RESTAURATIONS.

Si les restaurations sont différentes, la pile est évidente. Dans le cas de deux restaurations en un même alliage, elles peuvent différer par leurs hétérogénéités qui ne seront pas identiques. Il se constitue avec les électrolytes de l'organisme (salive et liquide intérieur) une pile galvanique; les alliages peuvent être séparés l'un de l'autre, ils constituent un élément ouvert; ils peuvent être en contact constant, la résistance du circuit extérieur devient nulle et l'élément débite à son maximum; le contact peut être intermittent et il se produit des décharges à chaque contact. Le métal le plus électropositif constitue l'électrode négative et le métal le plus négatif constitue l'électrode positive (Eintracht, 36. Shigeo Takahashi, 109).
Le courant circule de l'électrode positive vers l'électrode négative dans le circuit extérieur, tandis que dans l'électrolyte, les ions métalliques circulent du métal le plus vil vers le métal le plus noble (Lain, 64). La D.D.P. est d'autant plus importante que les métaux sont plus éloignés dans l'échelle des potentiels (Lain, 66. Torfs, 123).

Le fait qu'un métal soit inoxydable ne l'empêche pas de jouer le rôle d'électrode; sa surface peut être le siège de réactions d'oxydation et de réduction sans qu'il y ait corrosion (Denier de la Tour du Pin, 27).

LA DIFFERENCE DE POTENTIEL.

/ Il est facile de mesurer la D.D.P. entre deux pièces métalliques. Différents dispositifs ont été utilisés successivement par les auteurs; il suffit aujourd'hui d'employer un millivoltmètre électronique à forte impédance d'entrée; nous nous sommes servis du millivoltmètre électronique de METRIX qui nous a donné des résultats presque aussi précis que ceux recueillis au pont de Wheatstone.

La tension de telles compositions est la somme de valeurs simples telles que (Stawinski et Wojciak, 117) :

- élément galvanique,
- courants bioélectriques,
- influences polarisant l'élément.

Des différences de potentiel peuvent exister dans la cavité buccale entre (Rheinwald, 99) :

- métal et gencive,
- métal et salive,
- métal et métal par l'intermédiaire de la salive,
- métal et métal par l'intermédiaire de la gencive,
- métal et muqueuse,
- salive et gencive.

L'apparition d'une D.D.P. dans la bouche dépend (Stegeman, 118) :

- de la composition de l'alliage,
- du mode de fabrication des restaurations dentaires,
- de la composition de la salive,
- de la quantité d'oxygène ou de CO_2 dissous dans la salive

L'équilibre des potentiels peut s'effectuer soit par l'intermédiaire de la salive et de la muqueuse buccale, soit à travers la gencive et la dent.

SCHRIEVER et DIAMOND (108) ont mesuré dans la bouche trois valeurs de D.D.P. différentes entre deux pièces métalliques:

- une D.D.P. entre électrodes humides non en contact,
- une D.D.P. entre électrodes sèches non en contact,
- une D.D.P. entre électrodes sèches non en contact avec un shunt entre les deux pôles.

Ces D.D.P. correspondent à des éléments différemment constitués. Dans le premier cas l'élément est constitué par les deux pièces métalliques et la salive comme électrolyte; dans le second cas, il est constitué par les deux restaurations et le liquide intérieur; le troisième cas a permis de calculer la résistance du circuit extérieur et l'intensité du courant dans les conditions cliniques.
Pour ces auteurs, les résistances des deux circuits ne sont pas sensiblement différentes, cependant la fraction du courant qui passe par la gencive dépend dans une grande mesure de la profondeur de l'obturation. On doit admettre que,même dans le cas d'une obturation profonde,la plus grande partie du courant circule préférentiellement dans la salive.Touraine pense également que, quel que soit le mode de réalisation des deux électrodes, le principal milieu conducteur est réalisé par la salive. Le courant serait d'autant plus intense que les masses métalliques seraient plus importantes, plus étendues et plus superficielles au contact de la salive.

LAIN, SCHRIEVER et CAUGHRON (68), opérant in vitro ont essayé de déterminer les valeurs des f.e.m possibles et d'étudier leur action. Ils ont montré que l'électrolyte étant la salive ou le liquide intérieur, le courant circule de l'amalgame vers l'or dans l'électrolyte et de l'or vers l'amalgame dans le circuit extérieur de mesure.
Un montage expérimental a permis de montrer que la D.D.P est plus élevée à travers la salive qu'à travers le liquide intérieur et que dans le cas où les deux métaux plongent dans les deux liquides, le courant passe dans le sens dicté par la salive.

VALEURS DE LA D.D.P.

Chaque auteur a procédé à sa série de mesures effectuées en vue de l'étude de l'une ou l'autre caractéristique de la pile. Pour fixer les idées nous rapporterons une série des plus récentes. Il s'agit de 1199 mesures de D.D.P. entre métaux différents dans la cavité buccale effectuées par INOVAY et BANOCZY (54), dont les résultats figurent au tableau ci-dessous:

	Ac.Inox-Ac.Inox.	Amalg.-Amalg.	Ac.Inox.-Amalg.	Or-Amalg.	Or-Ac.Inox.	Or-Or	Total
Nombre de mesures.	301	212	238	151	176	199	1199
Valeurs maximales en mV	120	120	300	130	80	40	
Valeurs moyennes	21	17	25	20	19	12	
Nombre de mesures de 50 mV	18	10	36	14	4	-	82

Il ressort de ce tableau que les valeurs les plus élévées se mesurent entre l'acier et l'amalgame, que dans 82 cas la D.D.P. est supérieure à 50 mV et qu'on mesure des D.D.P. assez élevées entre alliages identiques.

EINTRACHT (36) à mesuré les valeurs suivantes:

- entre Or et Amalgame : 100 à 900 mV
- entre 2 Amalgames : 10 à 20 mV
- entre Amalgame et Alliages divers : 50 mV
- entre Acier inoxydable et Amalgame : 310 mV

Enfin, nous avons relevé dans la thèse de BRUGIRARD:

- d'or à or: le bimétallisme est nul si le titre des deux alliages est élevé, il reste faible si l'un est moins riche et déjà

sensibilisé par la présence d'une soudure à bas titre.

- d'or à acier inoxydable ou stellite: le bimétallisme est peu important.

- d'or à métal commun: il est peu important, la micropile est évidente, elle entraîne l'électrolyse de l'anode ainsi que le dépôt cathodique sur le métal noble.

- d'amalgame à or, acier inoxydable ou stellite: il est important; le couple or-amalgame est le plus nocif et le plus fréquent, la D.D.P. atteint 500 mV.

INTENSITE DU COURANT

L'intensité du courant est la valeur la plus importante du point de vue pathologique; elle ne peut être mesurée directement car l'appareil de mesure ne peut être inclus dans le circuit; on peut cependant la calculer à condition de connaître la résistance du circuit extérieur emprunté par le courant.

MUMFORD (84), considérant que la résistance d'une restauration à la restauration opposée est de l'ordre de 10.000 à 1.000.000 d'ohms évalue l'intensité entre 0,5 et 5 μA pour une f.e.m. de 0,5 V.

LAIN (64) a procédé à des mesures dans un circuit artificiel composé par un microampèremètre mis en relation avec les obturations par deux conducteurs. Aussitôt le contact établi dans le circuit de mesure, l'aiguille du microampèremètre monte à un niveau élevé et redescend lentement jusqu'à un niveau où elle demeure pendant un court moment, puis la polarisation des points de mesure se produit et l'aiguille tombe au zéro.

L'intensité du courant dépend de plusieurs facteurs:

- la surface totale ou le volume des métaux différents,

- les variations chimiques de la salive: l'hyperacidité ou l'hyperalcalinité augmentent la quantité du courant,

- la résistance des tissus et la distance entre les métaux (l'infection abaisse la résistance des tissus et augmente leur sensibilité),

- la position relative des métaux dans l'échelle des potentiels est le facteur le plus important.

En bref, l'intensité totale qui passe à travers une obturation en métal est la somme algébrique des intensités de différents courants simples et dépend des D.D.P. enregistrées et des résistances des différents circuits (Schriever et Diamond, 108).

LAIN, SCHRIEVER et CAUGHRON (68), pensent que le courant ne circule pas de façon constante à travers l'os et les tissus de la bouche; ce courant serait faible.

EINTRACHT (36) estime que l'intensité serait de l'ordre de 15 μA et quelle dépend directement du temps pendant lequel le courant circule. Une interruption du circuit permet à la pile de récupérer, mais à chaque rétablissement, le courant est inférieur d'environ 25%; ceci serait dû à la polarisation de la pile.

LE CIRCUIT EXTERIEUR.

D'une façon générale on considère que le circuit extérieur est constitué par les tissus mous entourant l'élément galvanique constitué; il est cependant difficile d'en faire la preuve.

SOLOMON, REINHARD et GOODALE (113) pensent que ce circuit hypothétique est douteux car le type de lecture d'intensité que l'on obtient, forte au début et plus basse ensuite, est typique d'une pile non utilisée c'est à dire, qui ne dispose pas d'un circuit extérieur avant qu'on établisse celui qui sert à la mesure.

D'autre part, ces auteurs ont pratiqué des mesures entre deux obturations non en contact entre elles et les valeurs recueillies étaient identiques, que ces obturations fussent ou non en contact

avec la langue.

Cependant, SOLOMON et REINHARD (112) écrivent par ailleurs qu'il existe certainement un rapport entre le circuit extérieur hypothétique et le circuit artificiel de mesure car l'intensité mesurée présente un rapport similaire avec le circuit hypothétique et les lésions observées.

Pour EINTRACHT (36), le courant circule à travers le circuit qui offre la moindre résistance. Le courant à travers les tubulis dentinaires est 15 à 18 fois inférieur à celui qui circule parallèlement à eux et autour d'eux. La résistance de la dentine sèche est relativement élevée,elle dépend de la concentration en eau et en sels dans les tubulis.
L'émail est relativement un bon isolant et sa conductivité est 20 à 40 fois inférieure à celle de la dentine; elle dépend de son degré de décalcification; les lésions pathologiques de la dent et la carie abaissent sa résistance électrique.
On considère les tissus environnant la dent comme conducteurs plutôt qu'isolants. Le courant circule donc à travers les tubulis dentinaires et autour d'eux à travers la pulpe, les parties molles pour revenir par la salive.

SCHRIEVER et DIAMOND (108), dans leurs travaux sur le circuit extérieur, ont conclu que la résistance qui limite le courant à travers une obturation est concentrée dans les interfaces obturation-liquide organique et obturation-salive. La part de résistance revenant au liquide intérieur et au cément serait négligeable.

OBSERVATION DU DOCTEUR KRICK (rapportée par Solomon et Reinhard,111): déviation thérapeutique du circuit.
Une dame portait plusieurs inlays en or et une seule obturation en

amalgame; celle-ci, ancienne, avait noirci. La patiente, par souci d'esthétique,insiste et persuade son dentiste de remplacer cette obturation par un inlay en or.

Celui-ci taille la cavité d'inlay sans retirer l'amalgame et installe la nouvelle obturation au cours d'un après-midi, recouvrant une bonne partie de l'amalgame demeuré en place. La patiente est revenue le lendemain se plaignant de très fortes douleurs pulpaires. Le dentiste fore un puits à travers l'obturation en or pour mettre l'amalgame en contact avec la salive. Le courant fut dévié vers la salive et les douleurs ont cessé.

La corrosion

La corrosion qui se produit en bouche répond aux deux types connus: la corrosion chimique et la corrosion électro-chimique; elle a pour motif dans les deux cas la présence de métaux vils et se traduit toujours par la mobilisation des cations et leur combinaison avec des anions corrosifs présents dans la cavité buccale; ces deux types de corrosion se produisent simultanément.

Les réactions électro-chimiques peuvent être ramenées à celles qui s'élaborent dans une pile en fonction. Les parties essentielles d'une pile électrique, l'anode, la cathode et l'électrolyte correspondent aux éléments d'une pile de corrosion électro-chimique, avec la seule différence que l'appellation des électrodes est inversée. Le mécanisme de la corrosion électro-chimique est modifié par les phénomènes de polarisation qui conduisent à des changements des conditions de travail aux environs des électrodes par le fait même du passage du courant (Foroud, 40).

L'action corrosive est très complexe du fait des réactions différentes au niveau des électrodes par les ions qui y sont accumulés et qui influent constamment sur la composition, la concentration et le pH de l'électrolyte. L'action corrosive se modifie spontanément par le jeu de ses propres réactions qui font varier les potentiels de dissolution des métaux en présence. C'est ainsi que l'étude du comportement d'un alliage dans un électrolyte donné ne peut être complète en dehors des expériences qui constituent les essais de corrosion (Pierson, 92).

La dissolution anodique d'un métal est en relation directe avec la réduction d'oxygène à la cathode et ne peut s'arrêter tant que cette dernière continue, toutes conditions étant pareilles. Le potentiel électro-chimique des couches d'oxyde des aciers inoxydables (formées d'oxyde de chrome) dépasse souvent le potentiel des métaux précieux lorsque l'on est en présence d'électrolytes fortement oxydants et passivants.

Nous avons déjà vu les hétérogénéités des métaux et des électrolytes et la façon dont peuvent être déterminées en bouche les piles galvaniques et les piles de corrosion. Rappelons seulement que les facteurs les plus néfastes consistent dans les hétérogénéités structurales des alliages (en particulier consécutives aux manipulations et à l'usinage), les hétérogénéités de situation, aération différentielle, aires relatives anode-cathode. Rappelons encore l'action dépolarisante de l'oxygène qui agit en fait comme un stimulateur cathodique.

Les symptômes objectifs de la corrosion. A part leur influence sur la tension de dissolution de l'alliage, les micropiles provoquent des phénomènes physico-chimiques dont la corrosion, les décolorations, l'altération des qualités mécaniques sont les principaux (123).

Ce n'est pas le potentiel présent sur l'élément ouvert qui importe le plus pour la force de corrosion qui apparaît, mais le courant qui circule dans l'élément court-cicuité (119). Il se produit une désintégration et une décoloration des restaurations métalliques. Alors que les éléments électro-positifs dans la pile de corrosion montrent une érosion caractérisée par une apparence nette et brillante, sur les restaurations électro-négatives, il y a, après un obscurcissement, un ternissement de la couleur, résultat de la présence de sulfures et de produits ionisés qui ont migré à partir des métaux positifs

tels que l'aluminium,le zinc, l'étain, le nickel, le cuivre à travers la salive pour se déposer sur les électro-négatifs comme l'or, le platine ou l'argent (67). Il se produit des phénomènes d'interférence (123).

Les ciments dentaires contenant un pourcentage élevé de zinc, sont fortement électro-positifs par rapport aux métaux nobles; aussi sont-ils rapidement attaqués dès qu'ils sont baignés dans la salive et ils s'y décomposent. Ces phénomènes apparaissent en général dans un délai de 18 mois à 2 ans et s'accompagnent le plus souvent de gingivite intense au niveau des collets des dents, causée par le galvanisme (Maduro et Tissié, 76).

CORROSION DES ALLIAGES D'OR

Les alliages d'or peuvent se ternir et se corroder en bouche, dans certaines conditions; un manque d'homogénéité de la surface de l'alliage ou la présence d'autres obturations en alliages différents en seront la cause.

Le temps de refroidissement d'un alliage entre son liquidus et son solidus est important du point de vue de la ségrégation susceptible de se produire. Les alliages or-cuivre sont excellents de ce point de vue, dans les limites pratiquées, car les intervalles de fusion sont faibles avec ces alliages. L'addition de Pd et de Pt modifie cette situation et produit une ségrégation intempestive (110).

Le ternissement des alliages d'or est facilement visible sur les corps de bridges et les collets des couronnes. Les ors blancs,qu'on devrait plutôt appeler des alliages au palladium, ont une résistance à la ternissure très inférieure, et leur haut point de fusion, si on les chauffe au chalumeau air-gaz, entraine des oxydations du métal.

Le cas particulier à étudier dans ce paragraphe est celui de la corrosion de l'or en contact avec une obturation en amalgame

FUSAYAMA (43) en a fait l'expérimentation dans une solution de salive artificielle et en bouche. Ce travail l'a mené à la conclusion que lorsqu'une obturation en or est en contact avec un amalgame frais de moins d'une heure, il se produit sur l'or, à la surface de contact, un amalgame d'or dont la couleur est argentée et dont la formule serait $Au_2Hg_3.Hg$. Cette tache est absolument superficielle et n'a pratiquement pas d'épaisseur.
Lorsque l'expérience est faite dans la salive et non à l'air, on observe un deuxième phénomène. Autour de la première tache apparaît une zone circonférentielle boursouflée, probablement constituée du même amalgame d'or (Au_2Hg_3) qui présente elle, une épaisseur définie. Elle est le résultat de la liaison entre l'or et le mercure libéré par la corrosion électro-chimique qui s'est produite entre les métaux mis en présence.
Si l'amalgame est plus ancien, aucun de ces phénomènes ne se produit.

Rappelons enfin, avec ZUHRT RAINER (138), le rôle important des alliages nobles dans la bouche, qui, s'ils sont moins corrodables, facilitent la corrosion des autres alliages moins nobles en servant de cathode. Il en a fait une étude expérimentale très démonstrative que nous ne rapporterons pas, car les alliages expérimentés sont peu utilisés aujourd'hui.

CORROSION DES ACIERS INOXYDABLES ET DES ALLIAGES Cr-Co

La tenue en bouche des stellites est remarquable; ils semblent résister à l'action des acides de la bouche et à toute attaque corrosive. Leur poli demeure remarquable après le séjour le plus long en bouche.

VENABLE et STUCK (129) ont fait une longue étude sur ces alliages; nous en avons déjà parlé. Ils relatent le fait expérimental suivant que le Vitallium, après un séjour de plusieurs mois dans une solution physiologique de NaCl, dans le sérum sanguin ou dans l'eau de mer ne présentait aucune trace de corrosion tandis que l'acier V2A ou K2A (métal Wipla) ont provoqué un trouble dans la solution de NaCl ou dans le sérum. Ce trouble est le témoin de la présence d'ions libérés par corrosion.
Une deuxième expérience consistait à immerger dans une solution de NaCl un fil d'argent attaché à la cathode et un autre métal à l'anode. Avec tout autre métal que le Vitallium, on a pu mesurer un courant de plus de 200 μA tandis qu'avec ce dernier l'aiguille du microampèremètre a marqué 2 à 3 μA au moment de l'immersion pour tomber aussitôt à zéro. Si l'on plaçait du zinc à l'anode et du vitallium à la cathode, on pouvait voir un très léger courant inversé qui disparaissait aussitôt.

DOCQ M (32), SAINT SAUVEUR (106), MODJESKI (81) concluent de même au parfait comportement des alliages Cr-Co en bouche comme en chirurgie générale ou en implantologie.

MORRAL (82), rappelant les travaux de Tofaute, a insisté sur l'importance de la coulée sous vide des alliages Cr-Co. Cette technique résulte en un matériau de grande pureté qui est plus facilement poli et plus résistant à la corrosion.

ACHARIA, FREISE et GREENER (1) ont étudié le potentiel d'électrode sur des échantillons de 6 types d'alliages Cr-Co dans l'eau distillée et dans la solution de Ringer tamponnée à pH = 7. L'électrode de référence était une électrode standard saturée au calomel. Les 6 alliages avaient subi des traitements thermiques différents pour présenter les structures différentes suivantes :

- état brut de coulée,
- état homogénéisé,
- état trempé,
- état traité (de trois façons différentes afin d'obtenir une structure héxagonale compacte non martensitique).

Les courbes potentiel-temps ont permis de conclure:

1°) A l'état brut de coulée:

- dans l'eau distillée, les alliages se polarisent vers les potentiels plus nobles de façon uniforme; il n'y a pas de corrosion par piqure dans ce système. L'activité passe par un minimum pour une teneur en chrome de 25 %.
- dans la solution de Ringer, le comportement est analogue; on observe toutefois un déplacement des courbes vers un domaine plus actif; ceci serait dû à la plus grande conductivité de l'électrolyte et à la présence des ions chlore.

2°) L'alliage homogénéisé a un comportement moins noble dans la solution de Ringer que l'alliage brut de coulée.

3°) L'alliage trempé est en général dans la solution de Ringer, plus noble que l'alliage traité; en d'autres termes, l'alliage dont la structure hexagonale résulte d'une réaction martensitique est plus noble que celui de même composition dont la transformation s'effectue par diffusion.

Interprétation des auteurs: les potentiels de corrosion, en l'absence de courant, sont le résultat de polarisation de micro électrode; jusqu'à 25% de Cr, une seconde phase n'apparait ni dans les échantillons bruts de coulée, ni dans les échantillons homogénéisés; les alliages à 30 et 40 % de Cr présentent une seconde phase dans les deux cas. Jusqu'à 25% de Cr, celui-ci a pour seul effet de rendre le matériau plus noble; au-delà de ce taux la phase δ riche en Cr précipite, ce qui rend le matériau moins riche en chrome et donc moins noble. Il se forme d'importantes micropiles entre la phase δ et le matériau.

Les autres différences de comportement entre les différents alliages s'expliquent également par des variations de microstructure qui sont consécutives aux traitements thermiques subis.

TANI et ZUCCI (17) ont étudié la corrosion des stellites dans un milieu synthétique et concluent: la diminution du pH de la solution (par addition d'acide lactique) favorise la corrosion, elle augmente le courant de passivité sauf pour le stellite qui est peu sensible à sa variation. Les ions Cl ont une action dépassivante, et c'est le stellite qui a, là encore, la meilleure résistance.
Les auteurs déduisent des courbes potentiel-intensité que le stellite présente le maximum de garantie pour la tenue en bouche; l'acier inoxydable vient ensuite.

Parallèlement à ces conclusions, nous devons citer les recherches effectuées par CARAFAS T (18) sur la corrodabilité des alliages Cr-Co implantés dans les tissus vivants. Cet auteur a trouvé que les implants d'Inconel, Inconel X, acier 17/7 durci par précipitation étaient remarquables et qu'il n'y avait que très peu de métal corrodé dans les tissus environnants; autour des implants en Vitalium et Neutrilium, les concentrations étaient plus fortes.
Dans tous les cas les concentrations des éléments trouvées dans les tissus ne concordaient pas avec la concentration de ces éléments dans les alliages.

Nous rappellerons enfin les travaux de BIEN et AYERS (10) et l'étude de CAITUCOLI et DUFRECHE (140) à propos de la corrosion des alliages austénitiques dans les zones de soudures. Ces zones de corrosion sont celles qui avoisinent immédiatement les soudures; Bien et Ayers les ont identifiées grâce à l'utilisation d'un fluant au fluor marqué.

SHIGEO TAKAHASHI (109) à lui aussi étudié les soudures d'acier Cr-Co in vitro dans une solution à 1% de NaCl. Les pièces soudées avec des soudures d'argent étaient immergées pendant une période allant de 7 à 10 jours, les degrés de corrosion correspondaient bien aux temps d'immersion et les pièces finissaient par se désolidariser.

Avant de clore ce paragraphe, nous rapporterons une observation que nous avons pu faire à plusieurs reprises sur des bridges en acier inoxydables portés par quelques uns de nos patients venant d'Europe Orientale. Ces bridges étaient constitués par deux couronnes apparemment préfabriquées, auxquelles était soudé un tablier pourvu de larges oreilles embrassant les couronnes, dont la raison était probablement d'ordre mécanique. Les aires anodiques représentées par ces soudures se trouvaient ainsi agrandies. La corrosion de ces aires fut cependant telle que les tabliers se sont complètement désolidarisés des couronnes et que nous avons pu les cueillir au bout des doigts, les couronnes étant évidemment demeurées à leur place et scellées.

CORROSION DES AMALGAMES

Une place particulière doit être faite ici à cet alliage, le plus vulnérable de tous les alliages utilisés en dentisterie. En effet, on ne l'utilise guère que sur les dents postérieures à cause de sa faible résistance au ternissement et à la corrosion; aussi a-t-il fait l'objet de nombreuses recherches. Disons cependant que la couche ternie, qui est généralement un sulfure d'argent, peut amener une passivation qui protège l'obturation contre une attaque ultérieure (Swartz M.L., Phillips R.W.et Tannir M.D.E., 120).

Travaux de SCHOONOVER et SOUDER (107). Ces auteurs ont étudié dans une solution de NaCl à 1%, le comportement du couple or-amalgame. Le contact entre les deux alliages était périodiquement interrompu chaque minute. La corrosion de l'amalgame commençait immédiatement et, après une semaine, la plaque d'or était ternie et avait l'apparence de l'or ayant été en contact avec du mercure. Un précipité blanc non adhérent à la surface de l'amalgame à été identifié comme étant un composé de Sn.

Une deuxième expérience a été menée avec or et amalgame en contact constant; quatre amalgames différents ont été testés. Les résultats ont montré que la composition de l'amalgame avait quelque influence sur l'importance de la corrosion et qu'il se libérait moins de Sn et d'Ag à partir des amalgames riches en Cu; on n'a pu détecter de Hg dans la solution; il est possible que le Hg libéré se soit amalgamé à l'or.

Enfin, les produits de corrosion de 18 amalgames de formule connue, en contact avec de l'or dans une solution de NaCl à 1%, ont été étudiés: il n'a pu être établi de relation entre le taux de corrosion et la proportion de Hg. Des traces de Cu, d'Ag et de Zn ont toujours été caractérisées dans la solution. La faible quantité d'Ag n'a pu être expliquée par les auteurs qui pensent que l'étain était corrodé plutôt que l'argent à partir des amalgames, ce qui nous paraît normal.

Etude de MODJESKI (81). Cet auteur a conclu: il n'existe pas deux restaurations en amalgame qui soient identiques, étant données les nombreuses raisons d'hétérogénéités de composition, de préparation, trituration, condensation, finition.

De minces films d'oxydes, de sulfures et de chlorures ont été identifiés sur les restaurations dentaires. On a attribué aux produits de corrosion une meilleure adhérence des amalgames après un certain temps de présence en bouche; il se formerait le long de la paroi de la cavité obturée une couche d'ions métalliques et de sulfures complexes.

Travaux de GUTHROW, JOHNSON et LAWLESS (45). Ces auteurs ont effectué une étude potentiométrique des courants de corrosion des différentes phases de l'amalgame dans une solution de Ringer et dans la salive artificielle. Les échantillons étaient constitués ainsi:

- phase γ : Ag_3Sn. L'alliage après préparation par dosage pondéral était contrôlé par diffraction des Rayons X.
- phase γ_1 : Ag_2Hg_3, préparée avec du mercure pur.
- phase γ_2 : Sn_8Hg, serait une solution solide de Hg et de Sn.
- amalgame avec 1% de Zn.

En général, les phases contenant du Sn étaient plus fortement attaquées dans la solution de Ringer que dans la salive artificielle, tandis que le Sn avait moins tendance à se déposer sur les phases contenant de l'Ag. Ceci serait dû probablement à l'effet de la quantité plus élevée de chlorure contenue dans la solution de Ringer et la différence correspond bien à cet ordre de grandeur. Ce phénomène n'aurait pas seulement pour effet l'augmentation de l'attaque de l'étain mais entraînerait aussi une protection bien plus considérable des phases contenant de l'Ag du fait de la formation plus rapide de la couche de chlorure d'Ag.

Quoique des changements aient été constatés dans la pente des courbes de polarisation pour tous les matériaux utilisés, dans aucune condition on n'a assisté à une passivation réelle; on ne peut donc pas escompter dans les conditions normales de la bouche, la formation d'une couche de protection, d'autant plus qu'au cours de la mastication tout film serait sujet à être érodé.

La phase γ (Ag_3Sn) serait neutre, la phase γ_1 (Ag_2Hg_3) la plus noble et la phase γ_2 (Sn_8Hg) sujette à la corrosion. Le ternissement est la conséquence du dépôt des produits de corrosion de cette phase sur les autres phases ou bien de chlorure d'argent sur la phase noble (Ag_2Hg_3).

Travaux de CARTER, ROSS et SMITH (19). Ces auteurs ont étudié la corrosion de l'amalgame dans la salive synthétique sur les courbes potentiel-temps et potentiostatiques; les résultats obtenus dans les deux cas se sont confirmés.

Effet du temps d'immersion: il se produisit une forte augmentation de poids pendant les 12 premiers jours; elle se fit ensuite plus graduelle. Les auteurs pensent que le ralentissement serait dû à l'action protectrice des produits de corrosion déposés à la surface du métal.

Effet de l'agitation et de la mucine dans la solution de salive: l'agitation, par l'apport d'oxygène qu'elle produit, entraîne la formation d'un film protecteur (oxyde ou hydroxyde) à la surface de l'alliage; la dissolution du métal est diminuée. Dans la salive stagnante,du fait de la quantité réduite d'oxygène, la réaction de réduction est limitée.
Dans la salive avec mucine, le potentiel stable est de -600 mV; il est de -570 mV dans la salive sans mucine. La tendance des courbes potentiel-temps était constante avec ou sans mucine.

Effet des gaz dissous: N a un effet désoxygénant et la réaction de réduction cathodique de l'oxygène ne se produit pas. Il apparaît une chute de potentiel et il ne se forme pas de film barrière de protection. La chute de potentiel peut aller jusqu'à -1000 mV en 24 heures.

CO_2 a le même effet que N. La chute du potentiel peut aller jusqu'à -780 mV.

O_2 détermine tout d'abord une chute du potentiel qui remonte après 24 heures pour s'établir autour de -460 mV.
Le comportement des restaurations dans la bouche est vraisemblablement celui observé en solution saturée de CO_2. Nous citerons à cette occasion les travaux de Berge Ph. (7).

Effet de la technique de polissage: Avec un polissage à la pierre ponce et au "blanc", on n'enregistre pas de changement de potentiel pendant les premières 24 heures, tandis qu'avec un polissage à l'oxyde de zinc-alcool et carbure de silicium ou bien à la pâte au diamant, on observe une variation légère.

L'étude potentiostatique a donné:

- l'agitation de la solution équivaut à une aération et à saturation en O_2; pas de pic de corrosion à -100 mV et seulement un faible courant de corrosion (0,2 mA/cm^2).
- avec saturation de N ou de CO_2: pic de dissolution à -100 mV avec un courant de corrosion de 4 mA/cm^2.
- le phosphate induit une passivité de l'amalgame dentaire probablement par la formation de phosphate métallique à la surface de l'obturation.
-dans les solutions de bicarbonate avec ou sans CO_2, pas de pic anodique; il s'établit probablement très tôt un film prévenant la dissolution.
- avec les acides et les sels organiques, il se forme un film de citrate ou d'acétate qui rend la surface du métal inactive; pas de pic anodique.
- avec le sulfure de Na, l'amalgame accuse une forte augmentation de la corrosion.

Le principal produit de corrosion anionique de l'amalgame est un sulfure. Comme le Sn est le principal constituant cationique du produit de la corrosion des amalgames dentaires, une phase contenant du Sn dans l'amalgame doit être la phase anodique. Les deux phases contenant du Sn sont la phase alliage Ag_3Sn et la phase amalgame Sn_8Hg. L'alliage Ag_3Sn préparé à part a été comparé à l'amalgame et il s'est révélé être d'un comportement plus noble que l'amalgame lui-même, en particulier dans les solutions sulfurées. Ag_3Sn n'est donc pas la phase anodique active, c'est la phase Sn_8Hg qui l'est dans l'amalgame.

Travaux de HABU (46). Cet auteur a étudié par la méthode polarographique la tendance de l'amalgame à la corrosion en fonction de :

la trituration et la méthode de condensation,
la finition et le polissage,
la proportion alliage-mercure,
le contenu en mercure,
les changements de température.

- La préparation par vibration mécanique augmente la résistance de l'amalgame à la corrosion.
- La condensation mécanique réduit au maximum le mercure résiduel et augmente sa diffusion dans les particules d'alliage; elle augmente ainsi la résistance à la corrosion.
- Une bonne finition et un bon polissage agissent dans le même sens; il y a lieu toutefois de veiller à ne pas échauffer le métal au cours de ces opérations: Une température au dessus de 65°C entraîne la libération de mercure qui est néfaste.
- La proportion alliage-mercure ne semble pas influer sur la tenue du matériau du fait de la condensation qui élimine les excédents; par contre, la quantité de mercure qui demeurera finalement ne devra pas excéder 45%.
- Les températures maxima et minima des aliments introduits dans la bouche sont de +80° et +4°C. Plus la température est élevée, plus la restauration sera susceptible à la corrosion.

Travaux de MATEER et REITZ (78). Ces auteurs ont fait une étude métallographique d'amalgames corrodés sur des dents extraites. Ils ont décrit plusieurs types de corrosion se produisant sur les amalgames avec leurs avantages pour la fixation de l'obturation et leurs inconvénients et dangers. Cette corrosion s'effectuerait aux dépens des phases γ_1 et γ_2 . En surface, c'est la phase γ_2 ($HgSn_8$) qui serait attaquée pour produire un oxyde βSnO_2 et un sulfure Sn_2S_3.

Dans les craquelures, c'est la phase γ_1 (Ag_3Hg_2) qui serait attaquée. En accord avec les travaux de JORGENSEN, la phase γ_2 (Sn_8Hg) serait sélectivement attaquée, délivrant des ions Sn qui réagissent avec les ions non métalliques portés in situ par la salive. La phase γ (Ag_3Sn) semble résister à l'attaque directe mais réagit avec le mercure libéré pour produire de nouvelles phases γ_1 et γ_2 . In vitro, Jorgensen a vu les oxydes se former par corrosion de l'amalgame. Lyell, Barber et Massler ont vu les sulfures produits en milieu sulfuré.

Nous rappellerons les conclusions de BRUGIRARD (17) sur les possibilités de corrosion lors du couplage de métaux différents dans la salive.

L'auteur a étudié dans différentes conditions d'aération et de rapports de surface, les courbes potentiel-intensité de différents couplages d'alliages dentaires dans la salive artificielle à pH initial 6,7.

Nous rappellerons ici ses conclusions:

1°) Le couplage des alliages à base d'or entraîne un galvanisme négligeable même si des éléments comme le zinc ou le cadmium sont présents dans ces alliages et se traduisent par une légère augmentation du courant de court-circuit Icc. Ces courants restent faibles.

2°) Le couplage des alliages à base d'or avec un acier inoxydable ou un stellite provoque des taux de corrosion plus élevés (facteur de 10, de l'ordre de 5μ/cm2/an).

3°) Le couplage d'un acier inoxydable (ou stellite) avec un amalgame à 65% Ag donne naissance à des courants importants qui correspondent à des taux de corrosion non négligeables (45 mg/cm2/an).

4°) Dans le cas d'un couplage d'alliages à base d'or avec un amalgame à 65% d'Ag, le taux de corrosion est légèrement plus important (75 mg/cm2/an).

5°) Si l'amalgame est placé en solution désaérée et l'alliage d'or en solution aérée, le taux de corrosion peut devenir très élevé (300 mg/cm2/an).

6°) Dans ce dernier cas, en fait, le taux de corrosion est très sensible au rapport des surfaces Anode-Cathode. Une grande surface de l'alliage à base d'or provoque le déplacement du potentiel de l'amalgame dans une zone située au-delà du potentiel de rupture du film passif de l'amalgame.

7°) L'amalgame en situation d'aération différentielle a tendance à se corroder fortement. Le courant circulant entre les parties anodiques et cathodiques est important.

8°) Le couplage de deux alliages riches en or sur une résistance élevée, montre que le courant galvanique est faible. Une couche de barrage s'établit rapidement sur les électrodes. Elle est stable au cours du temps. L'agitation peut la détruire localement, mais le courant reste négligeable.

9°) Le couplage d'un alliage à base d'or et d'un amalgame sur une résistance plus faible, révèle l'aspect instable de la passivité de l'amalgame. La couche protectrice peut se détruire au cours du temps, ce qui donne lieu à une corrosion importante de l'amalgame.

Conclusion

En vertu de la corrosion endobuccale, des ions métalliques sont mobilisés à partir des alliages présents dans la bouche. L'étude que nous venons de mener nous a conduit vers certains faits paraissant incontestables même si parfois la preuve intangible n'était pas faite. Sur d'autres points les conclusions semblent moins certaines et sont l'objet de quelques contradictions entre les auteurs.

Ainsi, si sans aucun doute, tous les métaux constituant les amalgames dentaires se retrouvent toujours dans la solution électrolyte en des quantités plus ou moins importantes et combinés de diverses façons, nous ne sommes pas certains, malgré les expériences et les affirmations de quelques auteurs tels que CARAFAS T, BIEN S et AYERS ou VENABLE et STUCK, de pouvoir trouver dans notre solution électrolyte qui est la salive, les métaux constitutifs des aciers inoxydables et des alliages Cr-Co.
Pour ce qui est des alliages d'or, bien que leur résistance à la corrosion soit théoriquement très bonne, il est certain que les restaurations construites avec ces alliages subissent souvent un ternissement plus ou moins important qui n'est autre qu'une corrosion plus ou moins légère; il ne fait pas de doute non plus que leur homogénéité n'est pas parfaite et, même si leur titre en carats est élevé, ils perdent certainement quelques parties de leurs métaux correctifs vils.

La discussion autour du galvanisme buccal ne laisse pas d'hésitation sur le passage du courant à travers la salive. Quelle que soit la façon dont se sera constituée la pile galvanique ou la pile de corrosion, des ions sont libérés dans la salive et migrent d'un métal vers un autre métal, soit au sein d'une même pièce, soit d'une pièce à l'autre. Les symptômes objectifs de la corrosion nous ont montré que des dépôts anormaux de métaux se constituent autour des pièces métalliques faisant office d'électrode.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE

Cette étude est basée sur l'hypothèse que LES METAUX LIBERES PAR ELECTROLYSE OU CORROSION ONT PENETRE A L'ETAT D'IONS DANS L'EMAIL DES DENTS EN CONTACT AVEC L'ELECTRODE RESPONSABLE DE LA CONCENTRATION ANORMALE; son objet sera donc la recherche de ces métaux dans les tissus ramollis des cavités de carie. Ces tissus seront quelquefois de l'ivoire seulement, souvent nos prélèvements comporteront aussi des fragments d'émail.

Nous décrirons le prélèvement des échantillons sur lesquels nous avons travaillé, leur conditionnement et leur analyse au laboratoire pour y caractériser sous une forme atomique les métaux que nous incriminons, la présentation et l'interprétation des résultats.

Nous avons recherché dans ces échantillons l'ETAIN, le CUIVRE et l'ARGENT qui sont les métaux corrodables présents en quantité assez forte dans les alliages d'or et les amalgames dentaires.

Dans les cas où les restaurations présentes en bouche comportaient des aciers inoxydables ou des alliages Cr-Co, nous avons recherché aussi le NICKEL, le CHROME et le COBALT.

Protocole expérimental

LES OBSERVATIONS.

Nous avons réuni 38 observations numérotées en chiffres romains de I à XXXIX (le numéro XXXV n'a pas été utilisé). A ces observations correspondent 46 échantillons prélevés, traités de la même façon et numérotés en chiffres arabes de 1 à 51. Les échantillons nº 34 et 46 qui étaient des dents entières extraites, ont été réservés pour être traités par scaning à la microsonde électronique; le nº 5 a dû être abandonné à cause d'une erreur de pesée qui le rendait inutilisable et les nº 45 et 50 n'ont pas été utilisés.

Pour chacun de nos patients, nous avons établi une observation comportant tous les renseignements utiles, les radiographies, lorsqu'elles offraient un intérêt et un diagramme de la denture où sont représentées toutes les pièces métalliques, qu'elles soient de simples obturations, des couronnes, des bridges ou des appareils de prothèse amovibles. Les cavités de carie où ont été prélevés les échantillons sont évidemment représentées.

Dans les cas où d'autres cavités de carie existaient dans la même bouche, nous y avons pratiqué un prélèvement de tissus ramollis,même si ces cavités n'étaient pas en contact avec une pièce métallique. Ces prélèvements ont servi de terme de comparaison et nous verrons que des conclusions intéressantes ont pu en être tirées.

Pour la dénomination des dents nous avons adopté le système à deux chiffres (56) soit:

	18.17.16.15.14.13.12.11	21.22.23.24.25.26.27.28.	
D			G
	48.47.46.45.44.43.42.41	31.32.33.34.35.36.37.38.	

Pour la commodité de l'interprétation, nous présenterons ces observations après l'exposé du protocole expérimental au moment de l'étude des résultats; nous les avons réparties en trois groupes correspondant aux trois tableaux A, B, C, avec lesquels elles seront étudiées et commentées; elles seront d'ailleurs disposées dans l'ordre où elles figurent sur ces tableaux et sur les graphiques.

PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS.

Les échantillons ont été prélevés dans les cavités de carie à l'aide de curettes spécialement confectionnées à cet effet en fil de titane, le plus rigide que nous ayons pu trouver dans le commerce. Nous avons choisi le titane parce que ce métal est neutre et que nous ne devions pas le rechercher dans les tissus prélevés.

Quelques fois, l'entrée de la cavité de carie était trop étroite, ou bien, la cavité était entièrement proximale sans que la face triturante ne se soit effondrée. Dans ces cas nous avons créé ou agrandi la voie d'accès à l'aide d'une fraise à fissure en carbure de tungstène montée sur une turbine; autant que possible, nous nous sommes efforcés aussi dans ces cas là, de recueillir la portion d'émail ainsi découpée pour l'inclure dans l'échantillon.

Chaque fois qu'il a été possible, nous avons isolé la cavité de carie de la pièce métallique adjacente à l'aide d'un strips en celluloïde. Chaque échantillon ainsi prélevé a été stocké dans un tube en verre que nous avons immédiatement scellé dans la flamme

d'un chalumeau à gaz. Les tubes avaient été au préalable soigneusement lavés au savon, rincés à l'eau distillée puis séchés et stérilisés dans un poupinel.
Chaque tube a reçu un numéro correspondant à une place déterminée sur un présentoir .

PREPARATION DES ECHANTILLONS.

Les analyses ont été faites au spectrophotomètre à absorption atomique qui admet les produits à analyser sous forme liquide; nous avons donc dissous nos prélèvements dans l'acide nitrique et les avons ensuite dilués avec de l'eau distillée.

PESEE DES ECHANTILLONS.

Chaque ampoule a fait l'objet d'une première pesée avant d'être ouverte et d'une seconde après que l'échantillon en ait été retiré; nous avons évidemment pris soin de récupérer et d'identifier les débris de chaque ampoule pour les inclure dans la seconde pesée.
Ces opérations de pesée ont été effectuées au Laboratoire Municipal de la ville de Bordeaux (Service des Fraudes) où une balance semi-microanalytique H 20 de Mettler, sensible au 1/100 de mg, a été mise à notre disposition.
Nous avons dû pratiquer des pesées indirectes et pour celà, nous avons utilisé deux verres de montre. Les résultats sont présentés sur le tableau numéro 1.
Ce tableau comporte 5 colonnes de chiffres:

Première pesée : Colonne A = verre de montre + tube scellé.
Colonne B = poids du tube scellé = colonne A - verre de montre.

Deuxième pesée : Colonne C = verre de montre + tube vide + débris.
Colonne D = poids du tube vide + débris = colonne C - verre de montre.

TABLEAU N°1 POIDS DES ECHANTILLONS

N°	Première pesée		Deuxième pesée		E. Poids échantillons	
	A	B	C	D	Grammes	Milli-grammes.
1	30,34004	1,31831	30,31758	1,29600	0,02231	22,31
2	30,37120	1,34947	30,35518	1,33360	0,01587	15,87
3	30,31400	1,29227	30,29169	1,27011	0,02216	22,16
4	30,31330	1,29157	30,28620	1,26462	0,02695	26,95
5	30,29200	1,27027	30,30576	1,28418		
6	30,34567	1,32394	30,32791	1,30633	0,01761	17,61
7	30,36510	1,34337	30,31267	1,29109	0,05228	52,28
8	30,35017	1,32844	30,32891	1,30733	0,02111	21,11
9	30,40982	1,38809	30,39660	1,37502	0,01307	13,07
10	30,20205	1,18032	30,20075	1,17917	0,00115	1,15
11	30,41392	1,39219	30,38045	1,35887	0,03332	33,32
12	30,28709	1,26536	30,27650	1,25492	0,01044	10,44
13	30,38700	1,36527	30,35087	1,32929	0,03598	35,98
14	30,47458	1,45285	30,46328	1,44170	0,01115	11,15
15	30,34805	1,32632	30,32817	1,30659	0,01973	19,73
16	30,43943	1,41770	30,42007	1,39849	0,01921	19,21
17	30,41253	1,39080	30,39428	1,37270	0,01810	18,10
18	30,40144	1,37971	30,36288	1,34130	0,03841	38,41
19	30,39607	1,37434	30,35730	1,33572	0,03862	38,62
20	30,46981	1,44808	30,46580	1,44422	0,00386	3,86
21	30,34471	1,32298	30,28972	1,26814	0,05484	54,84
22	30,32173	1,30000	30,32056	1,29898	0,00102	1,02
23	30,36815	1,34642	30,34466	1,32308	0,02334	23,34
24	30,47293	1,45120	30,44050	1,41892	0,03228	32,28
25	30,31835	1,29662	30,29668	1,27510	0,02152	21,52
26	30,34782	1,32609	30,33998	1,31840	0,00769	7,69
27	30,43000	1,40827	30,41532	1,39374	0,01453	14,53

N°	Première pesée		Deuxième pesée		E. Poids échantillons	
	A	B	C	D	Grammes	Milli-grammes.
28	30,35369	1,33196	30,32258	1,301000	0,03096	30,96
29	30,33289	1,31116	30,32908	1,30750	0,00366	3,66
30	30,39545	1,37372	30,37770	1,35612	0,01760	17,60
31	30,33087	1,30914	30,28851	1,26693	0,04221	42,21
33	30,31185	1,29012	30,25678	1,23520	0,05492	54,92
34	30,43663	1,41490	30,41562	1,39404	0,02086	20,86
35	30,47475	1,45302	30,45900	1,43742	0,01560	15,60
36	30,39779	1,37606	30,33810	1,31652	0,05954	59,54
37	30,35540	1,33367	30,33832	1,31674	0,01693	16,93
38	30,41900	1,39727	30,40365	1,38207	0,01520	15,20
39	30,42418	1,40245	30,40058	1,37900	0,02345	23,45
40	30,39512	1,37339	30,35865	1,33707	0,03632	36,32
41	30,31204	1,29031	30,28966	1,26808	0,02223	22,23
42	30,48355	1,46182	30,45982	1,43824	0,02358	23,58
43	30,40790	1,38617	30,39438	1,37280	0,01337	13,37
44	30,35245	1,33072	30,32149	1,29991	0,03081	30,81
47	30,41399	1,39226	30,38205	1,36047	0,03179	31,79
48	30,39679	1,37506	30,38483	1,36325	0,01181	11,81
49	30,42127	1,39954	30,41683	1,39525	0,00429	4,29
51	30,40014	1,37841	30,38614	1,36456	0,01385	13,85

Colonne E = poids de l'échantillon en grammes et en milligrammes, puisque B - D = E.

Le poids du verre de montre utilisé pour la première pesée était de 29,02173 grammes, le poids de celui utilisé pour la seconde était de 29,02158 grammes.

DISSOLUTION DES ECHANTILLONS ET DILUTION.

Dans l'ampoule même où il avait été stocké, chaque échantillon a reçu, suivant son importance, 1 à 1,5 ml de HNO_3 pour être dissous. Après dissolution totale des échantillons, ces solutions ont été respectivement transvasées dans des tubes à essais de 15 ml qui avaient été numérotés au préalable. Les ampoules ont été rincées avec de l'acide nitrique puis avec de l'eau distillée et les produits de rinçage ont été ajoutés dans les tubes à essais. Les ampoules de verre ont alors été séchées pour la deuxième pesée.

Dans les tubes à essais définitifs, les solutions ont été étendues à 5 ml avec de l'eau distillée. Les échantillons étaient ainsi prêts pour l'analyse.

Pour ces préparations, nous avons utilisé:

HNO_3 : pur de Rhône Poulenc

H_2O : eau bidistillée de Prolabo.

Le poids respectif des échantillons et le volume de la solution nous permettront, après analyse au Spectrophotomètre, de calculer la quantité de chaque métal contenue dans chaque échantillon et les concentrations de ces métaux en γ/mg dans le tissu dentaire.

Importance de la dilution.

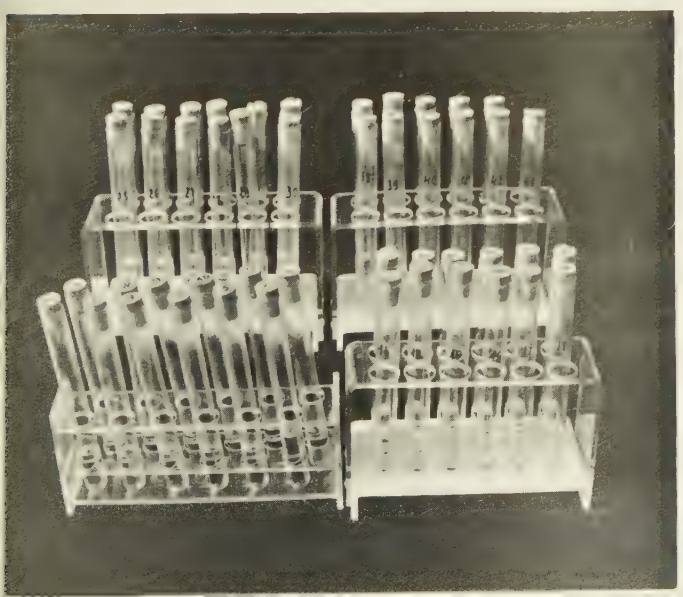
Il importe de ne pas trop diluer les solutions échantillons au moins avant de les tester, car, dans le cas où la concentration de métal serait très faible, si la dilution était trop grande, nous risquerions de tomber au-dessous de la limite de détection de l'appareil; celà est peut-être le cas des analyses préliminaires, où, dans certains échantillons, nous n'avons pu détecter que des traces

Photographie n° 1.

- matériel ayant servi au prélèvement et au stockage des échantillons.
- les ampoules scellées et numérotées sur leur présentoir

Photographie n° 2.

- les ampoules vides sur leur présentoir .
- le stockage des débris de verre.



Photographie n° 3.

- les solutions prêtes pour l'analyse.

de cuivre par exemple; ces traces auraient peut-être, été mieux appréciées, si la dilution avait été moins importante.

ANALYSE DES ECHANTILLONS.

Nous avons analysé les échantillons par spectrophotométrie d'absorption atomique. Cette méthode trouve son intérêt pour des recherches et des mesures en série comme c'est le cas dans ce travail.

PRINCIPE DE BASE DE LA SPECTROPHOTOMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE (5).

La spectrophotométrie d'absorption atomique est une technique d'analyse élémentaire bien établie qui trouve son application dans presque tous les domaines de l'analyse où la détermination quantitative des éléments est demandée. La méthode est spécifique pour chaque élément, et, là où d'autres techniques requièrent des traitements chimiques compliqués, elle permet très simplement de détecter et mesurer des éléments, même à l'état de traces, dans des solutions à des concentrations de l'ordre de 1 à 100 ppm.
Tandis qu'en spectrophotométrie par émission de flammes, on mesure l'énergie émise par des atomes, en absorption atomique, on mesure l'énergie absorbée par les atomes. L'absorption atomique tire parti des atomes métalliques en très grand nombre dans une flamme et qui n'ont pas acquis assez d'énergie pour émettre de la lumière. Ces atomes sont dits à leur " ground state ". L'absorption atomique est assez sensible et spécifique pour la plupart des éléments métalliques. Des interférences spectrales avec d'autres éléments qui émettraient au voisinage de la longueur d'onde de l'élément à l'étude, sont, contrairement à la spectrophotométrie par émission de flammes, virtuellement inexistantes en absorption atomique.
Chaque élément métallique a une longueur d'onde favorable pour sa me-

sure par absorption. On choisit une source qui émette la raie du spectre caractéristique de l'élément à rechercher. L'échantillon normalement mis en solution liquide, est fourni à la flamme par l'intermédiaire d'un nébuliseur; la flamme vaporise l'échantillon et amène les atomes dans une condition telle qu'ils sont capables d'absorption. Les atomes doivent être déliés de leurs combinaisons chimiques et à leur état d'énergie minimum. Un monochromateur sélectionne la longueur d'onde caractéristique de l'échantillon (raie de résonance) et élimine les raies voisines. Un photodétecteur mesure la lumière passant à travers la flamme avant et après l'introduction de l'élément dans celle-ci.
La quantité de lumière absorbée par les atomes de la flamme est proportionnelle à la concentration de l'élément dans la solution échantillon. Si on compare l'absorption indiquée par la lecture sur l'appareil à celles que l'on obtient avec des solutions étalons de concentration connue, on peut déduire la concentration de l'élément dans la solution échantillon par une simple lecture.

L'ANALYSE ELLE-MEME.

Nous avons effectué les analyses sur les appareils PYE UNICAM SP 90 et SP 90 Série 2 (page 80).
Ces appareils diffèrent peu l'un de l'autre; le premier ne possède pas la possibilité d'expansion d'échelle dont dispose le second.

Le Professeur Dulong de Rosnay a bien voulu nous permettre d'utiliser, dans son laboratoire de l'Hôpital Pellegrin, le spectrophotomètre à absorption atomique Unicam SP 90. Avec cet appareil, nous avons pratiqué sur nos échantillons le dosage du chrome, un dosage du cuivre et un dosage de l'étain.

Au laboratoire de Métallotechnie de l'U.E.R. d'Odontologie nous avons pratiqué un deuxième dosage du cuivre, deux dosages de l'étain et le dosage du cobalt et du nickel. L'appareil ici est un

Photographie n° 4.

Le spectrophotomètre à absorption atomique PYE UNICAM muni à sa droite de l'accessoire pour changement rapide des lampes à cathode creuse et du dispositif pour utilisation de N_2O.

spectrophotomètre à absorption atomique Unicam SP 90 Série 2.
Nous ne nous attarderons pas sur la description et le fonctionnement de ces appareils qui sont donnés en détail sur les documents délivrés par le constructeur.
Nous préciserons seulement que le SP 90 du Laboratoire du Professeur Dulong de Rosnay ne comporte comme accessoire que le SP 91 pour échange rapide des lampes à cathode creuse, tandis que le SP 90 Série 2 du Laboratoire de Métallotechnie de l'U.E.R. d'Odontologie est en plus équipé de l'accessoire SP 94 pour l'utilisation du protoxyde d'azote.

Nous attirerons l'attention sur quelques particularités apparues au cours de nos manipulations.
1º/ Nous avons dû augmenter la pression des fluides utilisés, en particulier la pression de l'air pour pouvoir établir et stabiliser à 5 litres/minute le débit d'air et de N_2O, et à 3 litres/minute le débit d'acétylène lorsque N_2O était employé comme gaz oxydant.
2º/ A plusieurs reprises, en cours d'analyses, nous avons dû éteindre la flamme pour nettoyer le nébuliseur et nous assurer qu'aucun liquide ne stagnait dans le tuyau allant de la chambre de spray au brûleur.
3º/ Au cours de nos premières manipulations, nous avons été gênés par un phénomène de mémoire de l'appareil. En effet, dès que la solution échantillon parvenait dans la flamme, l'aiguille du cadran de lecture des résultats indiquait une déviation très importante, dépassant largement celle obtenue pour la solution étalon, avant de redescendre pour venir se stabiliser sur une valeur qui indiquait réellement la concentration de la solution à l'étude. Nous avons pu éliminer ce clocher en faisant passer une solution d'acide nitrique dans l'eau distillée à une concentration de 20%, équivalente à peu près à la concentration d'acide dans nos solutions échantillons. Ainsi, chaque passage de la solution étalon ou d'une solution échantillon était encadrée par un passage d'eau distillée et un passage de cette solution blanche.

4º/ Nous rappellerons encore l'intérêt de la possibilité d'expansion d'échelle lorsque l'on recherche et que l'on veut doser des éléments à l'état de traces dans une solution, de même que l'importance de la température de la flamme et de l'emploi du protoxyde d'azote pour le dosage de certains éléments, l'étain par exemple dans notre étude.

Bien que la méthode soit présentée comme une technique sûre d'analyse quantitative, et malgré les précautions dont nous nous sommes entourés, nous considèrerons que nos résultats indiquent un ordre de grandeur qui devra être précisé par d'autres recherches plus nombreuses permettant d'établir des statistiques sur des bases plus larges.

CALCUL DE LA CONCENTRATION DE METAL DANS L'ECHANTILLON DE TISSU DENTAIRE PRELEVE.

Après pesée des échantillons et mise en solution aqueuse de ceux-ci, nous avons procédé à la recherche et au dosage des différents métaux dans les solutions échantillons.

Les spectrophotomètres Unicam SP 90 et SP 90 Série 2 que nous avons utilisés sont munis d'un cadran de lecture de résultats où la concentration des solutions se lit sous forme d'une déviation de l'aiguille. Les différentes déviations obtenues, pour les solutions échantillons, comparées à celle obtenue pour la solution étalon nous permettent de calculer la concentration de chaque solution échantillon, puis la quantité de métal contenue dans l'échantillon et enfin la concentration de métal dans l'échantillon. Ainsi, si:

x est la concentration de la solution échantillon en γ/ml

c, la concentration de la solution étalon en γ/ml

d, la déviation donnée par la solution échantillon

D, la déviation donnée par la solution étalon,

nous pouvons écrire :

$$\frac{x}{d} = \frac{c}{D}$$

d'où : $x = c \frac{d}{D}$ en γ/ml.

Si maintenant,

X est la concentration de métal dans l'échantillon en γ/mg

V, le volume de la solution échantillon en ml,

P, le poids de l'échantillon en mg,

nous pouvons écrire :

$$X = x. \frac{V}{P}$$

ou: $X = c. \frac{d}{D} . \frac{V}{P}$ en γ/mg.

Dans cette formule " c " la concentration de la solution étalon apparaît comme une constante, il importe donc que " c " soit la plus faible possible.

Il eut été préférable d'opérer la mesure de façon différente en encadrant la solution échantillon par deux solutions étalons de concentrations différentes mais très proches, nos calculs eussent été encore plus précis. Nous n'avons pas procédé ainsi par crainte d'épuiser trop vite nos solutions échantillons.

Les dosages

DOSAGE DE L'ETAIN

Nous avons pratiqué trois mesures successives pour l'étain. La première mesure a été pratiquée sur un appareil Unicam SP 90 non muni de l'accessoire pour le protoxyde d'azote SP 94. Cet appareil nous a donné des résultats décousus allant de quantités très importantes à d'autres très faibles sans intermédiaires. Ceci peut s'expliquer par deux raisons:

1º/ L'acétylène donne en brûlant une flamme de température trop basse pour dénouer les liaisons de l'étain (température de la flamme C_2H_2 = 2.300ºC, température de la flamme C_2H_2,N_2O = 2.950ºC).

2º/ L'appareil Unicam SP 90 n'est pas muni de la possibilité d'expansion d'échelle et les lectures sont moins précises.

Nous ne tiendrons donc pas compte de cette première mesure puisque nous avons pu par la suite en pratiquer deux autres sur l'appareil de l'Ecole Dentaire. Celui-ci est un appareil Unicam SP 90 Série 2, muni de l'accessoire pour le protoxyde d'azote SP 94; il possède le dispositif d'expansion d'échelle, et de ce fait, les lectures peuvent être faites avec beaucoup plus de précision. La flamme à l'acétylène et protoxyde d'azote est beaucoup plus chaude et peut dénouer les liaisons de l'étain permettant ainsi à ce métal de se présenter à l'état atomique. Le dosage sur cet appareil sera beaucoup plus près de la réalité.

Nous avons donc pratiqué deux mesures sur le SP 90 Série 2. La première a été effectuée avec une solution étalon contenant 1 mg/ml et la seconde avec une solution étalon contenant 20 γ/ml.

Comme nous l'avons vu dans nos calculs, la concentration de la solution étalon apparaît comme une constante dans l'équation que nous avons établie; de ce fait, les quantités détectées dans la première mesure sont, dans leur ensemble, sensiblement plus fortes que celles recueillies dans la seconde.

Nous aurions aimé pouvoir opérer avec une solution étalon d'une concentration égale à 5 γ/ml (soit 2 fois la sensibilité de l'appareil), mais les essais nous ont montré que les déviations de l'aiguille pour des concentrations de 5 et 10 γ/ml étaient trop faibles, même avec une expansion d'échelle égale à 10; nous avons dû passer à 20 γ/ml.

PREMIERE MESURE.

Solution étalon: préparation de la solution (128):
Dissoudre 1 gramme d'étain pur dans 50 ml de HCl (d=1,16) et 5ml de HNO_3 (d=1,42); chauffer pour obtenir la dissolution. Quand l'étain est dissous, ajouter 150 ml de HCl (d=1,16) et étendre à 1 litre avec de l'eau distillée. Conserver dans un flacon en polyéthylène. On a ainsi une concentration de 1 mg/ml.

Conditions de la mesure:

- Lampe à cathode creuse pour l'étain de Pye Unicam. Réf. 611507.
  - longueur d'onde 286,3 nm
  - intensité du courant d'utilisation 8 mA.
- Paramètres fixés sur l'appareil:
  - Clear
  - Fente 0,06
  - Absorption low gain
  - Damping 2
- Gaz utilisés: C_2H_2, N_2O.

Sensibilité de l'appareil avec ce mélange: 2,5 γ/ml.
Les résultats sont donnés au tableau 2 et ont été reportés sur le graphique nº1, page 93.

TABLEAU N° 2 RECHERCHE DU Sn 1° MESURE

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l'échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
1	6,693	6,5	3	5	0,5	0	0
2	7,935	7,5	3	5	0,47	0	0
3	22,16	5	3	5	0,45	0,01 à 0,02	5,01
4	26,95	5	3	5	0,45	T	T
5	erreur de pesée	5	3	5	0,44	T	
6	17,61	5	3	5	0,44	0,01 à 0,02	6,45
7	52,28	5	3	5	0,43	0,02	4,48
8	21,11	5	3	5	0,42	0	0
9	13,07	5	3	5	0,4	0 à T	T
10	1,15	5	3	5	0,39	0,01	111,48
11	33,32	5	3	5	0,67	0,01	2,239
12	10,44	5	3	5	0,64	0	0
13	35,98	5	3	5	0,65	0,01	2,137
14	11,15	5	3	5	0,63	0,01	7,117
15	19,73	5	3	5	0,62	0	0
16	19,21	5	3	5	0,63	T	T
17	18,10	5	3	5	0,62	0	0
18	38,41	5	3	5	0,45	0,01	2,892
19	38,62	5	3	5	0,44	0,01	2,942
20	3,86	5	3	5	0,44	0,01	29,439
21	54,84	5	3	5	0,44	0,01 à 0,02	4,144
22	1,02	5	3	5	0,44	0 à T	0 à T
23	23,34	5	3	5	0,44	T à 0,01	T à 4,868

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l' échantillon
N°	Poids	Dilu-tion	Expan-sion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
24	32,28	5	3	5	0,75	0	0
25	21,52	5	3	5	0,75	T	T
26	7,69	5	3	5	0,74	0 à T	0 à T
27	14,53	5	3	5	0,62	T à 0,0	T à 5,55
28	30,96	5	3	5	0,69	T à 0,01	T à 2,34
29	3,66	5	3	5	0,67	T	T
30	17,60	5	3	5	0,85	T à 0,01	T à 3,34
31	42,21	5	3	5	0,81	T	T
33	54,92	5	3	5	0,81	0,02	2,247
34	20,86	5	3	5	0,80	0 à T	0 à T
35	15,60	5	3	5	0,84	T à 0,005	T à 1,915
36	59,54	5	3	5	0,82	0,01	1,024
37	16,93	5	3	5	0,82	T à 0,005	T à 1,800
38	15,20	5	3	5	0,81	T à 0,005	T à 2,030
39	23,45	5	3	5	0,79	T à 0,005	T à 1,349
40	36,32	5	3	5	0,77	0,005 à 0,01	0,893 à 1,787
41	22,23	5	3	5	0,76	T	T
42	23,58	5	3	5	0,76	0,01	2,790
43	13,37	5	3	5	0,76	0,01	4,920
44	30,81	5	3	5	0,76	0,01 à 0,015	2,142 à 3,202
47	31,79	5	3	5	0,75	0,01	2,097
48	11,81	5	3	5	0,72	0,01	5,880
49	4,29	5	3	5	0,73	T	T
51	13,85	5	3	5	0,73	T	T

DEUXIEME MESURE.

Solution étalon: Nous avons prélevé 10 ml de la première solution que nous avons étendus à 500 ml avec de l'eau distillée, obtenant ainsi une deuxième solution étalon d'une concentration de 20 γ/ml.

Conditions de la mesure:

- Lampe à cathode creuse pour l'étain de Pye Unicam. Réf: 611507.
  longueur d'onde 286,3 nm
  intensité du courant d'utilisation 8 mA
- Paramètres sur l'appareil:
  Clear
  Fente 0,1
  Absorption low gain
  Damping 2
- Gaz utilisés: C_2H_2 , N_2O .

Sensibilité de l'appareil avec ce mélange: 2,5 γ/ml.
Les résultats sont donnés au tableau 3 et ont été reportés sur le graphique n° 1, page 93.

Comparaison des résultats: Etude du graphique n° 1.

Dans les cas n° 1, 2, 6, 7, 49, 11, 13, 47, 4, 21, 23, 24, 25, 18, 19, 20, 30, 31, 43, 28, 35, 36, 40, 41, 34, 37, 38, 39, 26, 27 et 51 les résultats sont parallèles mais toujours inférieurs dans la deuxième mesure du fait déjà signalé de la différence de concentration des solutions étalons.

Dans 5 cas, nous avons obtenu 0 à la première mesure et une déviation nette de l'aiguille à la seconde.
Le numéro 8 a donné 0 à la première mesure et une déviation de 0,01 dans la seconde correspondant à une concentration de 0,947 γ/mg dans l'échantillon.

TABLEAU N° 3 RECHERCHE DU Sn 2° MESURE

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l'échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
1	6,693	6,5	10	3	0,05	0 à T	0 à T
2	7,935	7,5	10	3	0,055	0 à T	0 à T
3	22,16	5	10	3	0,055	T	T
4	26,95	5	10	3	0,055	0,01	0,6746
5	erreur de pesée	5	10	3	0,055	0,01	
6	17,61	5	10	3	0,055	0,015	1,548
7	52,28	5	10	3	0,05	T à 0,005	T à 0,1912
8	21,11	5	10	4	0,05	0,01	0,947
9	13,07	5	10	4	0,05	0,01	1,530
10	1,15	5	10	4	0,05	0,005	8,695
11	33,32	5	10	4	0,04	0,02	1,5006
12	10,44	5	10	4	0,05	0,01	1,915
13	35,98	5	10	4	0,055	0,025	1,263
14	11,15	5	10	4	0,055	0,005	0,815
15	19,73	5	10	4	0,055	0,015	1,382
16	19,21	5	10	4	0,05	0,015	1,561
17	18,10	5	10	4	0,05	0,012	1,325
18	38,41	5	10	4	0,055	T	T
19	38,62	5	10	4	0,05	0,01	0,517
20	3,86	5	10	4	0,05	0,015	7,772
21	54,84	5	10	4	0,05	0,01	0,3646
22	1,02	5	10	4	0,05	0,005	9,803
23	23,34	5	10	4	0,05	0,012	1,028
24	32,28	5	10	4	0,04	0 à T	T

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l'échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
25	21,52	5	10	4	0,055	0,01	0,844
26	7,69	5	10	4	0,055	T	T
27	14,53	5	10	4	0,05	0,01	1,376
28	30,96	5	10	4	0,04	0,01	0,807
29	3,66	5	10	4	0,055	0,005	2,483
30	17,60	5	10	4	0,055	0,01	1,033
31	42,21	5	10	4	0,05	T à 0,005	T à 0,2369
33	54,92	5	10	4	0,05	T	T
34	20,86	5	10	4	0,05	T	T
35	15,60	5	10	4	0,05	T à 0,01	T à 1,282
36	59,54	5	10	4	0,055	0,02	0,6107
37	16,93	5	10	4	0,05	T à 0,01	T à 1,181
38	15,20	5	10	4	0,04	0 à T	0,à T
39	23,45	5	10	4	0,045	0 à T	0 à T
40	36,32	5	10	4	0,05	0,015	0,825
41	22,23	5	10	4	0,055	0 à T	0 à T
42	23,58	5	10	4	0,05	T à 0,005	T à 0,424
43	13,37	5	10	4	0,055	0,02	2,719
44	30,81	5	10	4	0,04	T	T
47	31,79	5	10	4	0,03	0,01	1,048
48	11,81	5	10	4	0,04	0,015	3,175
49	4,29	5	10	4	0,035	T	T
51	13,85	5	10	4	0,04	0,01	1,805

Le numéro 12 a donné 0 à la première mesure et une déviation de 0,01 dans la seconde correspondant à une concentration de 1,915γ/mg pour un poids d'échantillon de 10,44 mg.
Le numéro 15 a donné 0 à la première mesure et une déviation de 0,015 dans la deuxième mesure correspondant à une concentration de 1,382γ/mg dans l'échantillon.
Les numéros 16 et 17 ont donné T et 0 dans la première mesure et des lectures particulièrement nettes allant à une déviation importante de 0,015 dans la deuxième mesure.
Nous ne voyons pas d'explication sauf un mauvais fonctionnement de l'appareil dans un cas ou dans l'autre.

Dans 8 cas, nous avons trouvé des concentrations assez différentes entre les 2 mesures.
Le numéro 9 a donné T dans la première mesure et une déviation de 0,01 dans la seconde correspondant à une concentration de 1,530γ/mg pour un poids d'échantillon de 13,07 mg.
Le numéro 14 a donné dans la première mesure une déviation de 0,01 correspondant à 7,117γ/mg et dans la deuxième mesure une déviation de 0,005 correspondant à 0,815γ/mg.
Le numéro 3 a donné dans la première mesure une déviation de 0,01 après un clocher à 0,03 et seulement T à la deuxième mesure. Nous considèrerons que la déviation à 0,01 de la première mesure est le reste d'un phénomène de mémoire de l'appareil.
Le numéro 44 a donné une lecture imprécise à la première mesure et T à la deuxième.
Le numéro 42 a donné 0,01 à la première mesure et T à 0,005 à la seconde.
Le numéro 22 a donné T à la première mesure et une déviation de 0,005 à la seconde se traduisant par 9,803γ/mg étant donné le poids de l'échantillon.
Le numéro 29 a donné T à une mesure et 0,005 à l'autre.

Les différences importantes qui s'ensuivent quant aux concentrations dans ces 3 cas trouvent leur explication dans la différence de concentration des solutions étalons.
Le cas du numéro 10 est particulier par la forte concentration que traduisent les déviations importantes de l'aiguille dans les deux mesures. Nous verrons plus loin que ce clocher se retrouve pour ce même échantillon dans le dosage de l'Ag.

En conclusion
Nous avons souvent trouvé des déviations égales ou presque dans les deux mesures. Ces déviations se sont traduites par des concentrations plus faibles dans le deuxième cas du fait des différences de concentration des solutions de référence, comme nous l'avons dit plus haut. Les écarts très grands de concentration consécutifs à des lectures de déviation très proches telles que T et 0,005 trouvent leur explication dans le même motif ou le faible poids de l'échantillon. Malgré deux ou trois cas où nous n'avons pu trouver d'explication à des différences marquées de déviation de l'aiguille, nous considèrerons que la deuxième mesure est plus proche de la réalité et, c'est du tableau nº 3 que nous tiendrons compte dans la suite de ce travail.

DOSAGE DU CUIVRE

Comme pour l'étain, nous avons pratiqué deux dosages sur deux appareils différents, celui de l'Hôpital Pellegrin Pye Unicam SP 90 et celui de l'U.E.R. d'Odontologie Pye Unicam SP 90 Série 2. Pour les deux mesures, nous avons utilisé la même solution étalon d'une concentration de 1 γ/ml.

GRAPHIQUE N° 1 : ETAIN

— ✳ — 1° Mesure : Tableau 2

——●—— 2° Mesure : Tableau 3

111,48

9,803

29,439

9

8

7

6

5

4

3

2

1

1 2 6 7 8 9 49 11 12 13 14 47 51

3 4 10 15 44

21 22 23 24 25

18 19 20

30 31 33 42 43

28 35 36 40 41

29 34 37 38 39

26 27 16 17 48

Préparation de la solution étalon.

Dissoudre 1 gramme de cuivre pur dans 10 ml de HNO_3 puis étendre à 1 litre avec de l'eau distillée. Prendre ensuite 1 ml de cette solution et l'étendre à 1 litre avec de l'eau distillée.

PREMIERE MESURE: Appareil Pye Unicam SP 90.

Conditions de la mesure:

- Lampe à cathode creuse de Pye Unicam pour le cuivre. Réf:
  longueur d'onde 324,8 nm
  intensité du courant d'utilisation 4 mA.
- Paramètres sur l'appareil
  Clear
  Fente 0,1 mm
  Damping 2
  Absorption High gain
  Pas d'expansion d'échelle.
- Gaz utilisés: Air, acétylène.

Sensibilité de l'appareil avec ces gaz : 0,16 γ/ml

Les résultats sont donnés au tableau 4 et reportés sur le graphique nº2; page 100.

DEUXIEME MESURE: Appareil Pye Unicam SP 90 Série 2.

Conditions de la mesure:

- Lampe à cathode creuse de Pye Unicam pour le cuivre. Réf:
  longueur d'onde 342,8 nm
  intensité du courant d'utilisation 4 mA.
- Paramètres sur l'appareil:
  Clear
  Fente 0,08
  Damping 1
  Absorption low gain
- Gaz utilisés: Air, acétylène.

Sensibilité de l'appareil avec ces gaz : 0,16 γ/ml.

TABLEAU N° 4 RECHERCHE DU Cu 1° MESURE

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l'échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
1	6,693	6,5		2	0,012	0,007	0,566
2	7,935	7,5		2	0,012	0	0
3	22,16	5		2	0,015	T	T
4	26,95	5		2	0,018	T	T
5	erreur de pesée	5		2	0,015	0,002	
6	17,61	5		2	0,018	0,003	0,047
7	52,28	5		2	0,018	0,008	0,042
8	21,11	5		2	0,018	0,005	0,065
9	13,07	5		2	0,015	0,002	0,051
10	1,15	5		2	0,018	0,001	0,241
11	33,32	5		2	0,018	0,001	0,0083
12	10,44	5		2	0,018	T,	T
13	35,98	5		2	0,02	0,002	0,0138
14	11,15	5		2	0,02	0,001	0,022
15	19,73	5		2	0,018	0,003	0,042
16	19,21	5		2	0,018	T,	T
17	18,10	5		2	0,015	0,001	0,018
18	38,41	5		2	0,018	T à 0,001	T à 0,007
19	38,62	5		2	0,018	0,003	0,021
20	3,86	5		2	0,018	0	0
21	54,84	5		2	0,018	0,002	0,0101
22	1,02	5		2	0,018	0,001	0,272
23	23,34	5		2	0,02	0,002	0,021
24	32,28	5		2	0,022	0	0

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l'échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
25	21,52	5		2	0,02	0,002	0,023
26	7,69	5		2	0,02	0	0
27	14,54	5		2	0,025	0,002	0,027
28	30,96	5		2	0,022	0,001	0,007
29	3,66	5		2	0,02	0,001	0,068
30	17,60	5		2	0,021	T	T
31	42,21	5		2	0,03	T	T
33	54,92	5		2	0,025	0,005	0,018
34	20,86	5		2	0,022	0,004	0,043
35	15,60	5		2	0,021	0,001	0,015
36	59,54	5		2	0,018	0,002	0,009
37	16,93	5		2	0,028	0,002	0,021
38	15,20	5		2	0,025	0	0
39	23,45	5		1	0,018	0,005	0,059
40	36,32	5		1	0,018	T à 0,001	T à 0,007
41	22,23	5		1	0,018	0 à T	0 à T
42	23,58	5		1	0,018	T à 0,001	T à 0,0117
43	13,37	5		1	0,04	0,005	0,046
44	30,81	5		1	0,03	0,005	0,027
47	31,79	5		1	0,031	0,007	0,035
48	11,81	5		1	0,035	0,005	0,060
49	4,29	5		1	0,035	0,008	0,266
51	13,85	5		1	0,035	0,008	0,082

TABLEAU N° 5 RECHERCHE DU Cu 2° MESURE

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l' échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
1	22,31	5	6	3	0,2	0,04	0,044
2	15,87	5	6	3	0,2	0,04	0,062
3	22,16	5	6	3	0,2	0,04	0,045
4	26,95	5	6	3	0,2	0,03	0,0278
5	erreur de pesée	5	6	3	0,2	0,04	
6	17,61	5	6	3	0,2	0,03	0,042
7	52,28	5	6	3	0,2	0,02	0,009
8	21,11	5	6	3	0,22	0,05	0,053
9	13,07	5	6	3	0,2	0,04	0,076
10	1,15	5	6	3	0,2	0,06	0,134
11	33,32	5	6	3	0,2	0,045	0,033
12	10,44	5	6	3	0,2	0,04	0,095
13	35,98	5	6	3	0,15	0,02	0,018
14	11,15	5	6	3	0,18	0,02	0,049
15	19,73	5	6	3	0,16	0,02	0,0316
16	19,21	5	6	3	0,13	0,04	0,080
17	18,10	5	6	3	0,12	0,03	0,069
18	38,41	5	6	3	0,15	0,02	0,017
19	38,62	5	9	4	0,25	0,04	0,020
20	3,86	5	7	4	0,13	0,02	0,199
21	54,84	5	7	4	0,11	0,02	0,0165
22	1,02	5	7	4	0,18	0,04	1,089
23	23,34	5	7	4	0,15	0,02	0,028
24	32,28	5	7	4	0,18	0,03	0,025

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l' échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
25	21,52	5	7	4	0,14	0,035	0,058
26	7,69	5	7	4	0,1	0,03	0,102
27	14,53	5	7	4	0,1	0,02	0,068
28	30,96	5	7	4	0,1	0,03	0,048
29	3,66	5	7	4	0,1	0,02	0,273
30	17,60	5	7	4	0,1	T	T
31	42,21	5	7	5	0,13	0	0
33	54,92	5	7	5	0,12	0,04	0,030
34	20,86	5	7	5	0,12	0,025	0,049
35	15,60	5	7	5	0,12	0,02	0,053
36	59,54	5	7	5	0,1	0,04	0,033
37	16,93	5	8	4	0,08	0,03	0,110
38	15,20	5	8	4	0,15	0,05	0,109
39	23,45	5	8	4	0,11	0	0
40	36,32	5	8	4	0,1	0,02	0,027
41	22,23	5	8	4	0,1	0,02	0,044
42	23,58	5	8	4	0,1	0,03	0,063
43	13,37	5	8	4	0,1	0,03	0,112
44	30,81	5	8	4	0,1	0,04	0,064
47	31,79	5	8	4	0,1	0,04	0,062
48	11,81	5	8	4	0,1	0,04	0,169
49	4,29	5	8	4	0,1	0,02	0,233
51	13,85	5	8	4	0,18	0,03	0,060

Les résultats sont donnés au tableau 5 et reportés sur le graphique nº 2,page 100.

Comparaison des résultats: Etude du graphique nº2.

Dans les cas nº 6, 7, 8, 9, 49, 11, 13, 14, 47, 51, 3, 4, 10, 15, 44, 21, 23, 24, 25, 18, 19, 20, 30, 31, 33, 43, 28, 35, 36, 40 41, 29, 34 et 27, les résultats sont sensiblement égaux et ne posent pas de problème.

Dans 6 cas, nous avons eu des écarts importants.

Le numéro 1 a donné à la première mesure une déviation de 0,007 soit une concentration de 0,560γ/mg et à la deuxième mesure une déviation de 0,04 soit une concentration de 0,044γ/mg.

Le numéro 12: la première mesure a donné T et la deuxième mesure une déviation nette à 0,04 correspondant à une concentration de 0,095γ/mg.

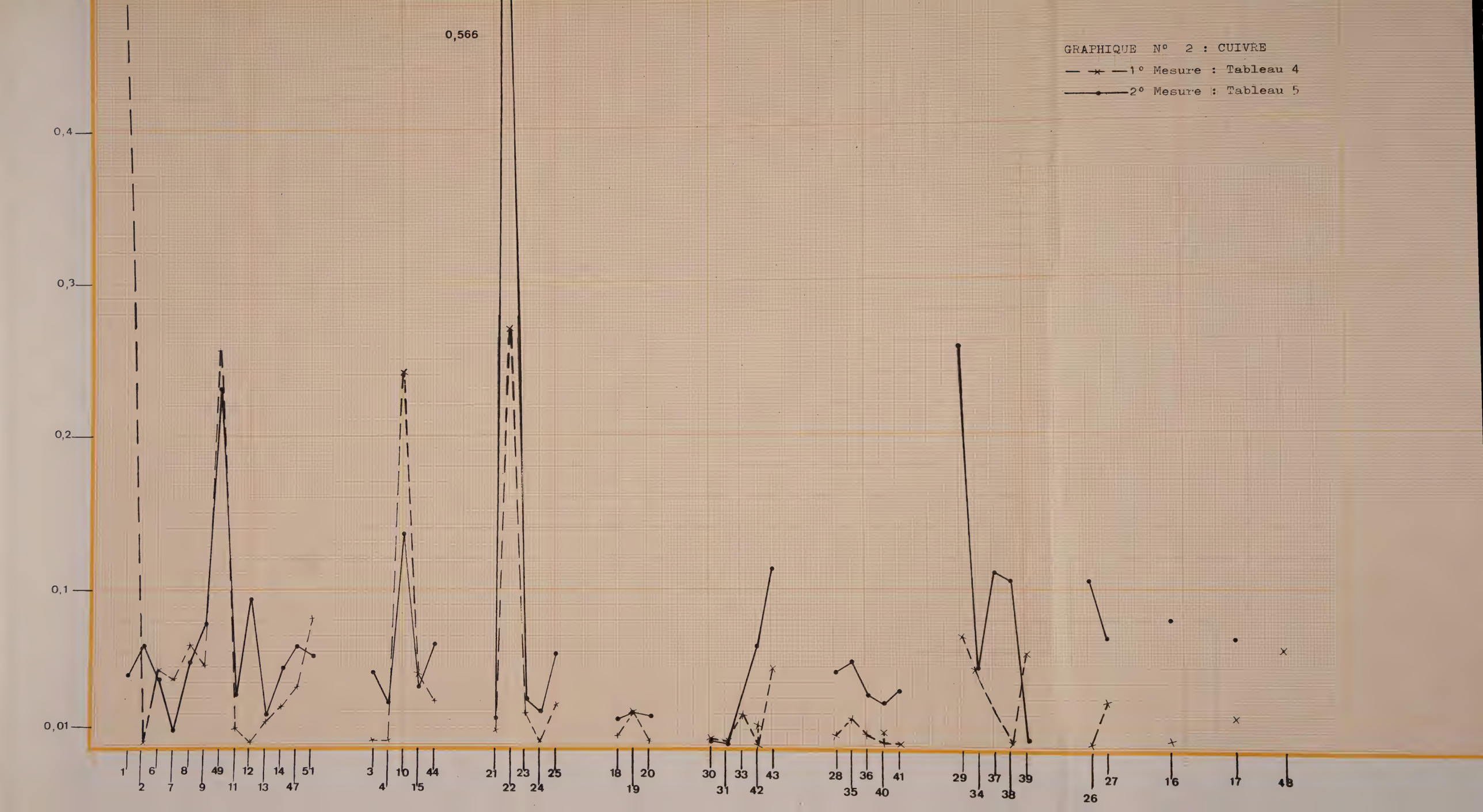
Le numéro 22: La première mesure a donné une déviation de 0,001 soit une concentration de 0,272γ/mg et la deuxième mesure a donné une déviation de 0,04, soit une concentration de 1,089γ/mg.

Le numéro 42 a donné à la première mesure une déviation T à 0,001 soit une concentration égale à T à 0,0117γ/mg et à la deuxième mesure une déviation nette à 0,03 soit une concentration de 0,063γ/mg dans l' échantillon.

Le numéro 37 a donné à la première mesure une déviation de 0,002 et une concentration de 0,021γ/mg et à la deuxième mesure une déviation nette à 0,003, soit une concentration de 0,110γ/mg.

Le numéro 16 a donné T à la première mesure et une déviation nette à 0,04 pour une concentration de 0,080γ/mg à la deuxième mesure.

Dans ces cas, nous pouvons expliquer les écarts par le fait que la lecture est moins précise sur l'appareil SP 90 qui n'a pas la possibilité d'expansion d'échelle.


GRAPHIQUE N° 2 : CUIVRE
1° Mesure : Tableau 4
2° Mesure : Tableau 5
0,566
0,4
0,3
0,2
0,1
0,01
1 2 6 7 8 9 49 11 12 13 14 47 51
3 4 10 15 44
21 22 23 24 25
18 19 20
30 31 33 42 43
28 35 36 40 41
29 34 37 38 39
26 27
16
17
48

Cinq cas nous ont donné 0 à une mesure et une déviation nette à l'autre, nous ne savons comment les interprêter.
Nous retiendrons donc les résultats de la deuxième mesure et c'est du tableau 5 que nous tiendrons compte dans la suite du travail.

DOSAGE DE L'ARGENT

Nous avons pratiqué le dosage de l'argent sur l'appareil de l'U.E.R. d'Odontologie PYE UNICAM SP 90 Série 2.

Solution étalon: Dissoudre 1 gramme d'argent pur dans 10 ml de HNO_3 et étendre à 1 litre avec de l'eau distillée. Prendre 1 ml de cette première solution et l'étendre à 1 litre avec de l'eau distillée, on obtient ainsi une solution contenant 1 γ d'Ag/ml.

Conditions de la mesure:
- Lampe à cathode creuse de Pye Unicam pour l'argent. Réf: 611472.
  longueur d'onde 328,1 nm
  intensité du courant d'utilisation:
- Paramètres sur l'appareil:
  Clear
  Fente 0,1
  Absorption low gain
  Damping 1
- Gaz utilisés: Air, acétylène.

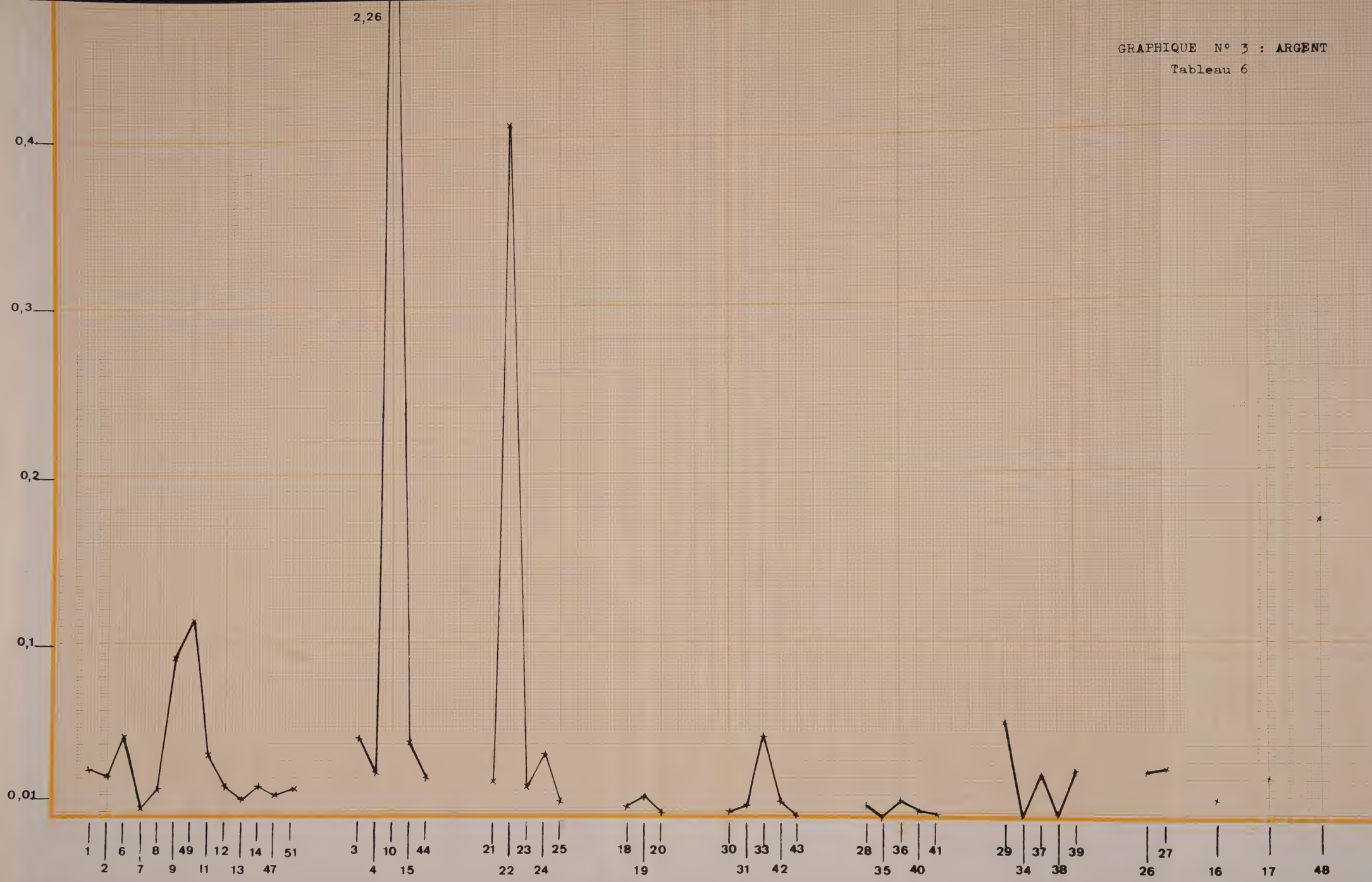
Sensibilité de l'appareil avec ces gaz : 0,1 γ/ml
Les résultats sont donnés au tableau 6 et reportés sur le graphique nº 3, page 104.

TABLEAU N° 6 RECHERCHE DE Ag

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l'échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
1	22,31	5	7	3	0,25	0,03	0,027
2	15,87	5	7	3	0,25	0,02	0,0252
3	22,16	5	7	3	0,25	0,05	0,0451
4	26,95	5	7	3	0,25	0,04	0,029
5	erreur de pesée	5	7	3	0,25	0,19	
6	17,61	5	7	3	0,25	0,04	0,0454
7	52,28	5	7	3	0,25	0,01	0,0038
8	21,11	5	7	3	0,25	0,02	0,018
9	13,07	5	7	3	0,25	0,06	0,091
10	1,15	5	7	3	0,25	0,13	2,26
11	33,32	5	7	3	0,25	0,06	0,036
12	10,44	5	7	3	0,24	0,01	0,019
13	35,98	5	7	3	0,24	0,02	0,011
14	11,15	5	7	3	0,24	0,01	0,018
15	19,73	5	7	3	0,24	0,04	0,042
16	19,21	5	7	3	0,24	T à 0,01	T à 0,0108
17	18,10	5	7	3	0,24	0,02	0,023
18	38,41	5	7	3	0,24	0,01	0,005
19	38,62	5	7	3	0,24	0,02	0,0107
20	3,86	5	7	3	0,24	T	T
21	54,84	5	7	3	0,24	0,03	0,011
22	1,02	5	7	3	0,24	0,02	0,408
23	23,34	5	7	3	0,24	0,02	0,017
24	32,28	5	7	3	0,24	0,06	0,038

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l'échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
25	21,52	5	7	3	0,24	0,01	0,009
26	7,69	5	7	3	0,24	0,01	0,027
27	14,53	5	7	3	0,24	0,02	0,028
28	30,96	5	7	3	0,24	0,01	0,0068
29	3,66	5	7	3	0,24	0,01	0,056
30	17,60	5	7	3	0,24	0	0
31	42,21	5	7	3	0,24	0,015	0,007
33	54,92	5	7	3	0,24	0,12	0,045
34	20,86	5	7	3	0,24	0	0
35	15,60	5	7	3	0,24	0	0
36	59,54	5	7	3	0,24	0,025	0,008
37	16,93	5	7	3	0,24	0,02	0,024
38	15,20	5	7	3	0,24	0 à T	0 à T
39	23,45	5	7	3	0,24	0,03	0,026
40	36,32	5	7	3	0,24	0,01	0,005
41	22,23	5	7	3	0,24	T	T
42	23,58	5	7	3	0,24	0,01	0,008
43	13,37	5	7	3	0,24	0	0
44	30,81	5	7	3	0,22	0,03	0,022
47	31,79	5	7	3	0,22	0,02	0,014
48	11,81	5	7	3	0,22	0,09	0,173
49	4,29	5	7	3	0,22	0,025	0,132
51	13,85	5	7	3	0,22	0,01	0,0164

GRAPHIQUE N° 3 : ARGENT
Tableau 6



DOSAGE DU CHROME, DU COBALT ET DU NICKEL

Nous avons procédé à la recherche du chrome et du cobalt dans les échantillons prélevés sur des sujets portant en bouche des restaurations en alliage Cr-Co. Ces mesures auraient eu besoin d'être reprises, malheureusement nos solutions n'étaient pas suffisantes pour permettre de nouvelles analyses. Il en est de même pour le nickel dans les échantillons prélevés auprès de restaurations en acier. Nous présentons les résultats obtenus pour ces trois métaux sans pouvoir en tirer de conclusions.

RECHERCHE DU CHROME.

Appareil SP 90 de l'Hôpital Pellegrin.

Solution étalon: 250 mg/litre (126).

Dissoudre 0,250 gramme de chrome pur dans 10 ml d'acide chlorhydrique (^{d} = 1,16) et étendre à 1 litre avec de l'eau distillée. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

Conditions de la mesure:

- Lampe à cathode creuse pour le chrome de Pye Unicam. Réf:
  - longueur d'onde 357,9 nm
  - intensité du courant d'utilisation 10 mA.
- Paramètres sur l'appareil:
  - Clear
  - Absorption low gain
  - Fente à 0,07
  - Damping 2
  - Pas d'expansion d'échelle.
- Gaz utilisés: Air, acétylène.

Sensibilité de l'appareil avec ces gaz : 0,17 γ/ml

Les résultats sont donnés au tableau 7.

TABLEAU N° 7 RECHERCHE DU Cr

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l'échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
17	18,10	5		5	0,17	T	T
18	38,41	5		5	0,18	0	0
19	38,62	5		5	0,17	0	0
20	3,86	5		5	0,17	0	0
26	7,69	5		5	0,16	0	0
27	14,53	5		5	0,16	0	0
28	30,96	5		5	0,16	0	0
29	3,66	5		5	0,165	0	0
30	17,60	5		5	0,16	0	0
31	42,21	5		5	0,16	0	0
33	54,92	5		5	0,16	0	0
34	20,86	5		5	0,16	0	0
35	15,60	5		5	0,16	0	0
36	59,54	5		5	0,165	0,002	0,254
37	16,93	5		5	0,165	0	0
38	15,20	5		5	0,16	0	0
39	23,45	5		5	0,17	0	0
40	36,32	5		5	0,17	0	0
41	22,23	5		5	0,17	0	0
42	23,58	5		5	0,17	0	0
43	13,37	5		5	0,17	0	0

RECHERCHE DU COBALT.

Appareil SP 90 Série 2 de l'U.E.R d'Odontologie.

Solution étalon: 250 mg/litre (125).

Dissoudre 0,250 gramme de Cobalt pur dans 10 ml d'une solution de HNO_3 à 50% v/v dans H_2O et étendre jusqu'à un litre avec de l'eau distillée. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

Conditions de la mesure:

- Lampe à cathode creuse pour le cobalt de Pye Unicam. Réf:
  - longueur d'onde 240,7 nm
  - intensité du courant d'utilisation 15 mA.
- Paramètres sur l'appareil:
  - Atténuation
  - Absorption low gain
  - Fente à 0,06
  - Hauteur du brûleur : 0,8 cm
- Gaz utilisés: Air, acétylène.

Sensibilité de l'appareil avec ces gaz : 0,4 γ/ml

Les résultats sont donnés au tableau 8.

RECHERCHE DU NICKEL.

Appareil SP 90 Série 2 de l'U.E.R. d'Odontologie.

Solution étalon: 250 mg/litre (127).

Dissoudre 0,250 gramme de nickel pur dans 10 ml de solution de HNO_3 à 50% v/v dans H_2O et étendre à un litre avec de l'eau distillée. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

Conditions de la mesure:

- Lampe à cathode creuse pour le nickel de Pye Unicam. Réf:
  - longueur d'onde 232 nm
  - intensité du courant d'utilisation 15 mA

TABLEAU N° 8 RECHERCHE DU Co

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l'échantillon
N°	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
17	18,10	5	1	3	0,6	0	0
18	38,41	5	1	3	0,6	0	0
19	38,62	5	1	3	0,6	0	0
20	3,86	5	1	3	0,6	0	0
26	7,69	5	1	3	0,6	0	0
27	14,53	5	1	3	0,6	0	0
28	30,96	5	1	3	0,6	T	T
29	3,66	5	1	3	0,6	0	0
30	17,60	5	1	3	0,6	0	0
31	42,21	5	1	3	0,6	0	0
33	54,92	5	1	3	0,6	T	T
34	20,86	5	1	3	0,6	T	T
35	15,60	5	1	3	0,6	0	0
36	59,54	5	1	3	0,59	0 à T	0 à T
37	16,93	5	1	3	0,59	0	0
38	15,20	5	1	3	0,59	0 à T	0 à T
39	23,45	5	1	3	0,6	0 à T	0 à T
40	36,32	5	1	3	0,59	0	0
41	22,23	5	1	3	0,58	0	0
42	23,58	5	1	3	0,58	0	0
43	13,37	5	1	3	0,58	0	0

- Gaz utilisés: Air, acétylène.

Sensibilité de l'appareil avec ces gaz : 0,3 γ/ml

- Paramètres sur l'appareil:

Clear

Absorption low gain

Fente à 0,06.

Les résultats sont donnés au tableau 9.

TABLEAU Nº 9 RECHERCHE DU Ni

ECHANTILLONS			MESURES				Concentration de l' échantillon
Nº	Poids	Dilution	Expansion	Gain	Etalon	Echantillon	
	mg	ml					γ/mg
13	35,98	5	1	3	0,52	0	0
27	14,53	5	1	3	0,51	0	0
33	54,92	5	1	3	0,51	0	0

Etude des résultats

Nous avons classé les échantillons en fonction de deux critères:

- le nombre de types d'alliages métalliques présents (visibles) en bouche,
- le type d'alliage métallique près duquel l'échantillon a été prélevé.

Nous avons pu ainsi établir trois tableaux A, B et C.

- Dans le tableau A figurent les échantillons prélevés dans les bouches où n'apparaît qu'un seul type d'alliage métallique; le prélèvement a été effectué dans une cavité de carie évoluée sur la face de la dent voisine, contigüe à cet alliage.
- Dans le tableau B figurent les échantillons prélevés dans les bouches présentant deux types d'alliages différents; nous avons caractérisé 3 combinaisons:

Amalgame - Or
Amalgame - Acier
Or - Alliage Cr-Co.

Dans chacun de ces groupes, nous avons distingué des sous-groupes suivant que le prélèvement a été effectué près de l'un ou l'autre de ces alliages.

- Dans le tableau C figurent les échantillons prélevés dans des bouches présentant 3 types d'alliages différents et nous avons réparti ces prélèvements suivant le type d'alliage près duquel ils ont été effectués; nous avons ainsi caractérisé 3 sous-groupes.

Le tableau D.

Dans chaque type de prélèvement ainsi caractérisé sur ces trois tableaux, nous avons calculé les valeurs moyennes des concentrations des différents métaux dosés, et nous les avons reportées

sur un tableau d'ensemble. Nous avons également fait figurer sur ce tableau les concentrations moyennes mesurées par les différents auteurs. Ce tableau D va nous permettre de comparer les valeurs moyennes établies au cours de notre travail, d'une part entre elles, et d'autre part avec celles trouvées par les auteurs.
Nous étudierons ce tableau en premier lieu.

ETUDE DU TABLEAU D

Ce tableau est en fait une récapitulation de nos résultats sous forme de moyennes qui, comparées à celles trouvées par d'autres auteurs, aura pour motif principal la détermination des doses de ces oligo-éléments à considérer comme normales dans les tissus dentaires durs.

Bien qu'il découle des trois autres tableaux A, B et C, son étude et son commentaire en premier lieu sont plus indiqués et éviteront des redites au cours de l'analyse des résultats de cette recherche. Afin de faciliter la comparaison des valeurs qui y figurent dans des systèmes différents d'unités, γ/mg, pourcentage, ppm, ces valeurs ont été converties en ppm et soulignées.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES RECHERCHES ET DOSAGES D'OLIGO-ELEMENTS DANS LES TISSUS DENTAIRES.

Différents auteurs ont effectué la recherche et le dosage d'oligo-éléments dans les tissus dentaires durs. NIXON (85) dans un travail récent (1970) a tracé un tableau comparatif des méthodes d'analyse utilisées et des résultats trouvés pour différents métaux. Nous en rapportons des extraits relatifs aux éléments que nous étudions et que nous présentons sur le tableau nº 10, page 115.
Les méthodes d'analyse élémentaire utilisées ont été :

- Des analyses chimiques,
- Spectrométrie et fluorométrie:
  spectrométrie de masse
  spectrométrie d'émission
  spectrométrie d'absorption
- Activation de neutrons.

D'une façon générale, l'auteur conclut que la concentration des oligo-éléments varie beaucoup. Nombre de ces éléments sont des constituants intrinsèques de l'émail et varient peu entre la dent qui n'a pas fait son éruption et celle arrivée sur l'arcade. Ces éléments ont été incorporés dans le tissu dentaire au moment du développement de la dent, et ils s'y trouvent parfois à des taux similaires à ceux rencontrés dans les autres tissus de l'organisme. Cependant, une fois la dent arrivée sur l'arcade, des variations dans ces taux se produisent; certaines sont consécutives à des accumulations à partir des aliments, de l'eau, de l'environnement général, d'autres (Pb,Hg, Sn) seraient dues à la présence de restaurations en amalgame.

- Les recherches de BRUDEVOLD et STEADMAN (16), en 1955 ont porté sur l'émail et ont été exécutées par spectrographie d'émission. Ces auteurs ont effectué leurs analyses sur des couches d'émail successives de plus en plus profondes provenant de dents non encore évoluées, de dents parvenues sur l'arcade, de dents de différents âges ayant ou non porté des obturations métalliques.
Parmi les éléments étudiés par ces auteurs, le Cu et le Sn entrent dans le cadre de notre travail; leurs résultats figurent sur le tableau nº 10 et nous rapportons ici leurs conclusions: la concentration d'étain contenu dans l'émail dentaire est sensiblement égale à celle des autres tissus de l'organisme. Il y a lieu de distinguer entre les petites quantités que l'on trouve normalement et les fortes quantités qui peuvent s'incorporer aux dents du fait de la nourriture, de la salive, de l'environnement et des restaurations dentaires en amalgame.

- SPEIRS (116) a pratiqué les mêmes recherches pour l'étain et a conclu dans le même sens.

LE DOSAGE DU Cu a davantage intéressé les chercheurs. Les résultats obtenus par BRUDEVOLD et STEADMAN figurent également sur le tableau 10. Nous rapportons leurs conclusions (16): le taux de Cu est plus élevé dans l'émail des dents après leur éruption sans que l'on puisse en rendre responsable la présence d'obturations métalliques en bouche; la concentration de Cu est plus élevée dans les couches les plus superficielles de l'émail de toutes les dents sans qu'on ait pu établir de relation avec le rapport $\frac{Cu}{P}$, l'âge, les taches brunes ou blanches, la carie, les rugosités ou les obturations. Les résultats sont les mêmes pour les dents avant ou après leur éruption. La distribution du Cu dans l'émail ne semble suivre aucun ordre établi et la concentration moyenne dans la couche d'émail la plus externe est de 20 ppm. Ces auteurs ont cité dans leur travail quelques recherches antérieures dont les résultats figurent sur le tableau D. Il s'agit de:

- GINZBURG et EL'PINER qui ont trouvé pour l'émail sain une concentration de Cu égale à 5,2 γ/gr, soit 5,2 ppm, et dans l'émail de dents ayant porté des obturations en amalgame, une concentration de 18,5 γ/gr, soit 18,5 ppm, et de
- RYGGE qui a dosé 0,01%, soit 100 ppm de Cu dans l'émail taché brun et seulement 1/100º de cette quantité, soit 1 ppm dans l'émail de dents saines. Il n'a pu détecter de Cu dans la dentine et le cément.
- NIXON (85) a également conclu d'après les résultats qu'il a obtenus qu'aucun principe de répartition du cuivre dans les tissus dentaires ne lui était apparu.
- SPEIRS (116) a lui aussi trouvé des concentrations supérieures de cuivre à la surface de la dent et pense que ces concentrations seraient en relation avec la présence et la corrosion des restaurations

métalliques dans la bouche.

- Nous citerons encore les travaux en cours de ROUGEREAU, CHARLES et BERENHOLC (104) qui ont trouvé en 1971 des valeurs de 0,04 et 0,06mg% soit 400 et 600 ppm, pour les molaires supérieures et inférieures de rats.

- RETIEF, CLEATON-JONES, TURKSTRA et DE WET (96) ont dosé en 1970 dans la dentine et l'émail des dents humaines, un certain nombre de métaux par la méthode d'activation de neutrons. Ils ont dressé des tableaux de ces valeurs ainsi qu'un tableau comparatif avec des valeurs qu'avaient établies d'autres auteurs ; nous en retiendrons les chiffres trouvés pour le Cr, l'Ag et le Co.

Eléments	Nombre d'échantillons analysés	Concentration moyenne en ppm	Valeurs extrêmes.
Pour l'émail:			
Cr	6	1,02	0,45 - 1,49
Ag	9	0,56	0,34 - 0,78
Co	10	0,13	0,04 - 0,22
Pour la dentine:			
Cr	8	1,99	1,32 - 2,66
Ag	6	2,18	1,41 - 2,95
Co	10	1,11	0,93 - 1,29

Nous retiendrons également, pour être complets, quelques résultats concernant le Co que Nixon (85) n'a pas pu donner; ce sont:

Pour l'émail:

Soremark et Lundberg (115): 0,00024 ppm par la méthode d'activation de neutrons et Hardwick et Martin (47): 10 à 100 ppm par spectrométrie de masse.

TABLEAU N° 10 ORDRE DE GRANDEUR DES CONCENTRATIONS DES OLIGO-ELEMENTS DANS LES TISSUS DENTAIRES.

Eléments	Moyennes en ppm	Méthodes d'analyse	Auteurs
EMAIL			
Ag	0,0049	Activation de neutrons	Soremark et Lundberg 1964
	1 à 10	Spectrométrie de masse	Hardwick et Martin 1967
Cr	0,0037	Activation de neutrons	Soremark et Lundberg 1964
Cu	12 à 30	Spectrométrie d'émission	Brudevold et Steadman 1955
	10,11 $\pm$ 7,84	Activation de neutrons	Nixon et Smith 1962
	0,26 $\pm$ 0,11	Activation de neutrons	Soremark et Samsahl 1961
	1 à 10	Spectrométrie de masse	Hardwick et Martin 1967
Sn	1,0 à 7,0	Spectrométrie d'émission	Brudevold et Steadman 1956
DENTINE			
Ag	1 à 10	Spectrométrie de masse	Hardwick et Martin 1967
Cu	0,21 $\pm$ 0,10	Activation de neutrons	Soremark et Samsahl 1962
Sn	1 à 10	Spectrométrie de masse	Hardwick et Martin 1967

Pour la dentine:

Scremark et Lundberg (115) : 0,00034 ppm par la méthode d'activation de neutrons.

Tous ces résultats sont réunis sur le tableau D pour y être comparés avec ceux obtenus dans notre travail.

De toutes les valeurs avancées par les auteurs, quelles moyennes considérer comme normales? Nous serons tentés de considérer comme normales les plus petites valeurs diagnostiquées. En effet, ces quantités l'ont été par la méthode analytique la plus précise, à savoir " activation de neutrons "; les moyennes plus élevées trouvées par spectrométrie de masse, d'émission de flamme ou d'absorption atomique proviennent probablement d'échantillons contaminés ou de dépôts qui se seraient produits par suite de corrosion et de galvanisme.

LE TABLEAU D. (page 122).

D'une façon générale, les moyennes que nous avons établies sont bien plus fortes que celles données par les auteurs, que ce soit pour l'étain, le cuivre ou l'argent et quelle que soit la topographie de nos prélèvements; ce fait ne nous surprend pas car tous ces auteurs ont cherché à doser des oligo-éléments dans des tissus dentaires sains et autant que possible n'ayant pas avoisiné avec des alliages métalliques. Nous n'avons au contraire pratiqué nos recherches que sur des dents ayant avoisiné avec ce type d'obturation.

Les résultats de quelques auteurs ne correspondent pas exactement à cette constatation: il s'agit des doses de cuivre mesurées par Berenholc et Al. qui ont travaillé sur des molaires de rats, et des chiffres moyens donnés par Brudevold et Steadman, et par Hardwick et Martin, qui sont très voisins des nôtres. Certains auteurs ont distingué deux valeurs différentes:

- Rygge donne pour le cuivre une valeur plus élevée pour l'émail

taché (brun) et une valeur inférieure pour l'émail non taché.
- Ginsburg et El'Piner ont différencié pour le cuivre une moyenne supérieure pour l'émail carié et une autre inférieure pour l'émail sain.
Nous noterons encore, étant donné le sujet de ce travail, que tous ces auteurs ont trouvé des valeurs supérieures lorsque les dents étudiées provenaient de bouches porteuses de restaurations métalliques; mais ils n'ont pas précisé si les échantillons avaient été recueillis sur des dents elles-mêmes restaurées ou bien seulement voisines ou contigües à des alliages métalliques.

Nos résultats élevés confirment ce qui avait déjà été affirmé par quelques auteurs (110), qu'il se produit effectivement une corrosion des métaux en bouche, et que des ions métalliques sont libérés et subissent une migration.

Cette migration peut être due au flot salivaire, mais aussi à des phénomènes électriques car, comme nous le verrons, il se produit un partage sélectif et une migration.

Pour le Chrome et le Cobalt, les résultats que nous avons obtenus et reportés sur les tableaux 7 et 8, nous incitent à penser que les alliages au Cr-Co sont des plus stables en bouche. Cependant nous ne nous y attarderons pas, car nos dosages pour ces 2 métaux manquent trop de précision en comparaison des chiffres donnés par Retief, Soremark et Lundberg, Hardwick et Martin. Il y aura lieu de reprendre complètement cette partie du travail.

Dans le cadre de nos recherches personnelles, au sein de la première partie du tableau, nous notons que sur l'ensemble des moyennes que nous avons établies, le taux de cuivre est toujours supérieur à celui de l'argent sauf dans la colonne 5 (prélèvement près de l'amalgame dans la combinaison Or-Amalgame) et que le taux de l'étain est le plus élevé dans cette colonne.

LES DOSES D'ETAIN.

Cas particulier des colonnes 1, 2 et 7.

Dans ces 3 colonnes, nous sommes surpris par les valeurs élevées mesurées pour l'étain. En effet, les quatre patients qui ont fourni les échantillons figurant dans ces trois colonnes ne présentent aucune reconstitution visible en amalgame sur leurs dents.

- Dans le cas de l'échantillon 16/XXVI de la colonne 1, voir observation page 124, le patient ne porte que des reconstitutions en alliages d'or coulés et la bouche est en parfait état; nous ne voyons d'autre explication qu'une faute expérimentale, d'autant plus que le premier dosage de Sn avait donné des traces, ce qui est certainement le résultat le plus vrai.

- La colonne 2 groupe deux échantillons provenant de personnes différentes:

a) l'échantillon 26/XXXVIII où l'on n'a dosé que des traces de Sn et pour lequel il n'y a donc pas de contestation (voir observation page 125),

b) l'échantillon 27/III, prélevé dans une bouche portant 2 appareils en résine avec 3 crochets en acier (voir observation page 126).

- Enfin l'échantillon 17/XXXIII qui figure à la colonne 7 provient d'une bouche qui présente des couronnes en or avec un appareil en Cr-Co. Nous pouvons supposer que de l'amalgame existe sous les couronnes en or, ou bien que de l'étain provient de la corrosion des soudures d'or sur les couronnes (voir observation page 164).
Pour ces trois derniers cas, des dents actuellement absentes ont pu avoir été restaurées avec de l'amalgame, l'étain de cet amalgame aurait été corrodé, les ions mobilisés se seraient concentrés près de ces pièces métalliques en acier ou en or. Nous nous trouverions alors dans les conditions des colonnes 4 et 6.

D'une façon générale, ce métal a donné les doses moyennes les plus élevées; c'est le métal le plus anodique de la série. Quelques valeurs semblent remarquables.

- Cas de la colonne nº 3: l'amalgame étant seul alliage présent en bouche, la corrosion se ferait à partir de micropiles seulement et le Sn ne trouvant pas de potentiel cathodique assez fort pour l'attirer serait dispersé et éliminé par le flot salivaire.

- Dans le cas des combinaisons de 2 ou 3 alliages dans la même bouche, la moyenne la plus faible de chaque série est celle des échantillons prélevés près de reconstitutions en or (colonnes 4 et 10).

- Les échantillons prélevés près d'alliages Cr-Co ou d'amalgame présentent les doses moyennes les plus élevées du tableau dans le cas où 2 types d'alliages sont présents en bouche (colonnes 5 et 6), tandis que ces doses sont plus faibles voire moyennes dans le cas où 3 alliages sont présents en bouche (colonnes 8 et 9).

Il est à noter que dans une combinaison à 2 alliages, amalgame et or des quantités supérieures d'étain devraient se concentrer près de la cathode en or, tandis que dans la combinaison à 3 alliages, l'étain devrait se répartir entre les deux métaux les plus cathodiques en fonction de leurs potentiels respectifs.

LES DOSES DE CUIVRE.

Elles sont plus faibles que celles de l'étain, mais supérieures à celles de l'argent; les potentiels d'électrodes de ces 2 métaux sont voisins dans l'échelle des potentialités.

- Une valeur se distingue immédiatement: la dose très élevée de la colonne 3; elle semble contrebalancer la faible quantité d'Etain, mais nous devons remarquer que la quantité d'Argent est elle aussi élevée, et la seconde du tableau.

- La deuxième valeur importante de Cu figure dans la colonne 10; ici encore la dose d'Etain est faible et la dose d'Argent relativement élevée.

Les rapports des concentrations des 3 métaux entre eux dans les colonnes 3 et 10 présentent une certaine similitude bien que dans le cas de la colonne 3 les échantillons proviennent du voisinage d'amalgames et dans le cas de la colonne 10, ils proviennent du voisinage d'alliages d'Or.

- Le taux du Cu est sensiblement de la même valeur dans toutes les autres colonnes sauf dans les colonnes 8 et 9 où il est à peu près égal à la moitié de cette valeur (combinaison de 3 alliages).

- Nous ne relevons donc pas de particularité pour le Cuivre dans le cas de combinaison de 2 alliages.

LES DOSES D'ARGENT.

- Nous remarquerons tout d'abord la moyenne la plus forte dans la colonne 5 et la plus faible dans la colonne 6, toutes deux dans le même type de groupement d'alliages mais provenant d'échantillons prélevés, les uns près d'amalgames et les autres près de reconstitutions en acier, ce qui correspond aux potentiels d'électrodes respectifs des reconstitutions.

Dans la combinaison Or-Amalgame, la concentration en Ag des échantillons prélevés près de l'Or est à peu près 10 fois moindre que celle des échantillons prélevés près de l'amalgame.

- Nous noterons que la deuxième valeur forte du tableau est celle de la colonne 3 dont les échantillons ont été prélevés près d'un amalgame, celui-ci étant le seul type d'alliage présent en bouche.

Au total, nous pouvons résumer nos remarques ainsi:

Colonne 3 : Voisinage d'amalgame.
- Faible concentration d'Etain.
- Concentration de Cuivre très élevée.
- Concentration d'Argent assez élevée.

Colonne 4 - 5 - 6 : combinaison Amalgame + 1 autre métal.

- Les doses d'Etain sont les plus fortes (présence d'Amalgame).
- Les doses de Cuivre sont sensiblement égales et de valeur moyenne.
- Les doses d'Argent sont moyenne en 4, la plus forte en 5 et la plus faible en 6, correspondant à l'attraction exercée suivant le degré de noblesse du métal.

Colonnes 8 - 9 - 10:

- Les doses d'Etain sont moyennes en 8 et 9, très faibles en 10.
- Les doses de Cuivre, très forte en 10, sont sensiblement égales entre elles en 8 et 9 et de valeur égale à la moitié des autres colonnes.
- Les doses d'Argent sont assez basses en 8 et 9, plus élevées mais encore basses en 10.

La distribution des cations semble bien se produire en fonction des polarités déterminées par le caractère anodique ou cathodique des alliages près desquels les prélèvements ont été effectués. Un partage sélectif se produit donc en fonction des potentiels présentés par les alliages qui ont servi aux reconstitutions, bien que, parfois, nous n'ayons pas retrouvé une concordance parfaite, ce qui n'est pas étonnant étant donnés la complexité et le nombre des variables du milieu dans lequel nous travaillons.

Les quantités détectées pour chaque métal correspondent bien à son degré de corrodabilité dans l'alliage qui le contient, donc au comportement plus ou moins noble de cet alliage du fait de sa composition, de sa constitution et de sa passivité.

Ces quantités diffèrent des proportions pondérales de ces métaux dans la composition des alliages, qu'ils soient des amalgames ou des alliages d'or.

TABLEAU : D ETUDE DES VALEURS MOYENNES

	TRAVAUX PERSONNELS										TRAVAUX DIFFERENTS AUTEURS														
	1 ALLIAGE			2 ALLIAGES				3 ALLIAGES			RETIEF et Al.		BERENHOLC et Al. Molaires de rats	BRUDEVOLD et STEADMAN	SOREMARK et LUNDBERG		HARDWICK et MARTIN		SOREMARK et SAMSAHL		NIXON et SMITH	GINZBURG et EL'PINER		RYGGE	
	OR	ACIER	AMALGAME	AMALGAME + OR		AMAL + ACIER	OR + Cr-Co	Prélèv. près ACIER	Prélèv. près AMALG.	Prélèv. près OR	Email	Dentine			Email	Dentine	Email	Dentine	Email	Dentine	Email	Dent. saine	Dent. cariée	Email sain	Email taché
				Prélèv. près OR	Prélèv. près AMALG.	Prélèv. près ACIER	Prélèv. près OR																		
Colonne n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Nombre de prélèv.	1	2	5	14	5	3	1	5	5	5	ppm	ppm		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
Sn γ/mg	1,561	0,688	0,447	1,124	2,150	2,763	1,325	0,835	0,704	T 1:1,180															
ppm	1561	688	447	1124	2150	2763	1325	835	704	T 1: 1180				1 à 7				1 à 10							
Cu γ/mg	0,080	0,085	0,2433	0,0718	0,0604	0,078	0,069	0,041	0,041	0,196			0,05%											0,0001%	0,01%
ppm	80	85	243,3	71,8	60,4	78	69	41	41	196			500	12 à 30			1 à 10		0,26	0,21	10,11	5,2	18,5	1	100
Ag γ/mg	0,0108	0,036	0,0966	0,0449	0,4796	0,005	0,023	0,012	0,014	0,021															
ppm	10,8	36	96,6	44,9	479,6	5	23	12	14	21	0,56	2,18			0,0049		1 à 10	1 à 10							
Co											0,13	1,11			0,00024	0,00034	10 à 100								
Cr											1,02	1,99			0,0037										

ETUDE DU TABLEAU A

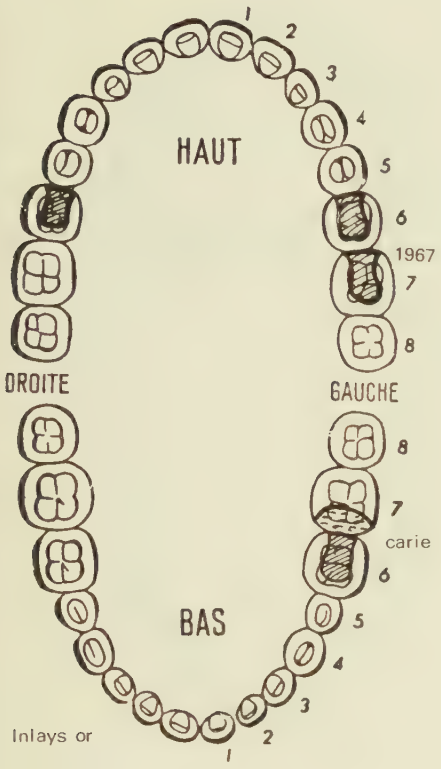
(page 135).

Nous présentons ici 8 observations dans l'ordre suivant: XXVI, XXXVIII, III, XIX, XX, X, IX et IV qui est celui du tableau, et pour faciliter la lecture de celui-ci, les colonnes sont numérotées dans le même ordre de 1 à 8.

Chaque fois que nous citerons un échantillon, son numéro sera indiqué en chiffres arabes, tandis que celui de l'observation dont il fait partie sera indiqué en chiffres romains.
Nous étudierons ensuite le tableau en nous référant au fur et à mesure aux observations correspondantes.

OBSERVATION N° XXVI.

ECHANTILLON N° 16.



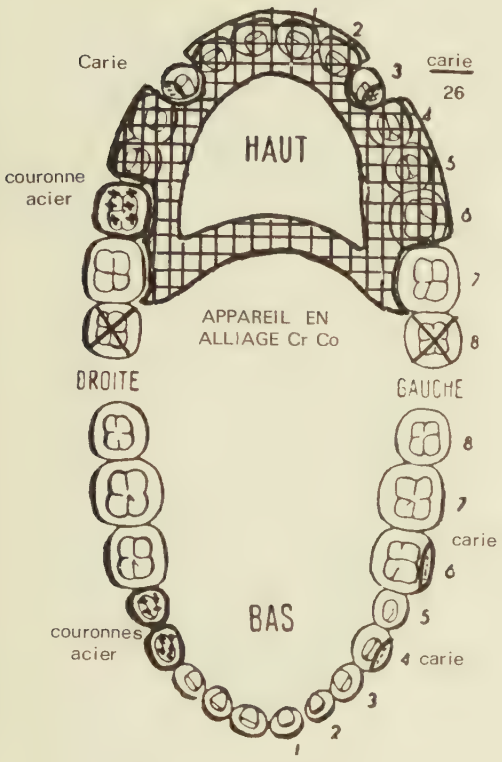
La bouche de ce patient, en parfait état, ne comporte que quatre inlays en alliages d'or. La molaire 37 présente sur sa face mésiale une cavité de carie en rapport avec l'inlay occluso-distal de la dent 36. Nous y avons prélevé l'échantillon n° 16 qui a donné à l'analyse les mesures qui figurent sur le tableau ci-dessous.

Cette observation a été discutée au cours de l'étude du tableau D pour la forte concentration d'étain.

Poids de l'échantillon	19,21 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	1,561 γ/mg
Cu	0,0800 γ/mg
Ag	0,0108 γ/mg

OBSERVATION N° XXXVIII.

ECHANTILLON N° 26.



Ce patient porte en bouche trois couronnes en acier, et un appareil en alliage Cr-Co au maxillaire supérieur.

Les canines 13 et 23 présentent chacune sur sa face distale une carie en rapport avec l'appareil de prothèse.

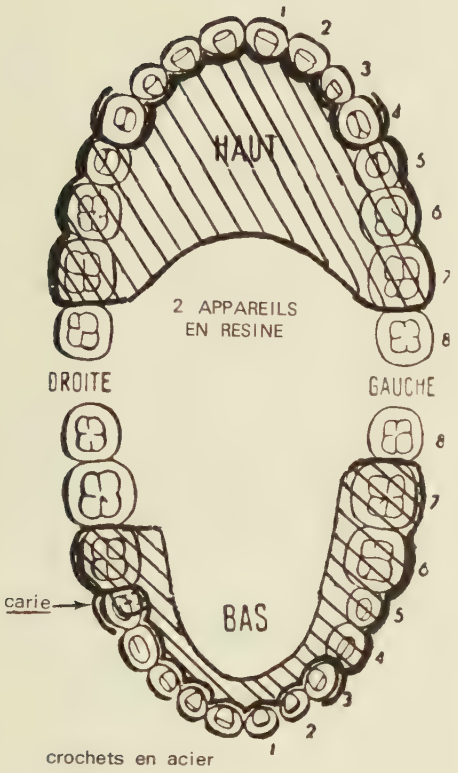
Au maxillaire inférieur nous notons également deux caries sur les dents 34 et 36 sans qu'elles soient en rapport avec des pièces métalliques.

Nous n'avons pu prélever qu'un seul échantillon dans la cavité de carie de la canine 23; nous y avons mesuré les valeurs suivantes.

Poids de l'échantillon	21,52 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	0 à T
Cu	0,102 γ/mg
Ag	0,027 γ/mg
Co	0
Cr	0

OBSERVATION N° III

ECHANTILLON N° 27



Ce patient porte 2 appareils en résine aux maxillaires supérieur et inférieur avec 4 crochets en fil d'acier demi-jonc.La dent 45 supporte un de ces crochets sur sa face vestibulaire; elle présente sur sa face disto-linguale une carie importante qui a évolué à bas bruit jusqu'à la gangrène pulpaire et l'abcès apical. La cavité de carie est en rapport avec la résine et non avec le crochet en acier.

Le 6 juillet 1971, nous avons prélevé dans cette cavité l'échantillon n° 27 pour servir d'élément de comparaison.

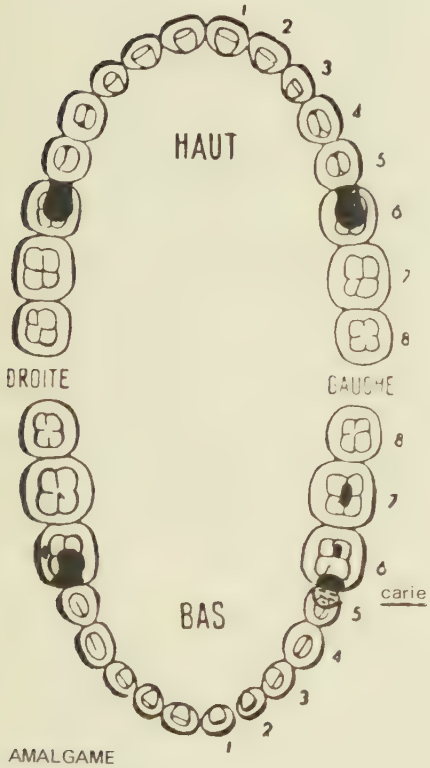
A l'analyse, nous avons mesuré les valeurs portées sur le tableau ci-dessous.

Le taux d'étain élevé de cet échantillon a été étudié avec le tableau D.

Poids de l'échantillon	14,53 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	1,376 γ/mg
Cu	0,068 γ/mg
Ag	0,0451 γ/mg
Cr	0
Co	0

OBSERVATION N° XIX.

ECHANTILLON N° 21.



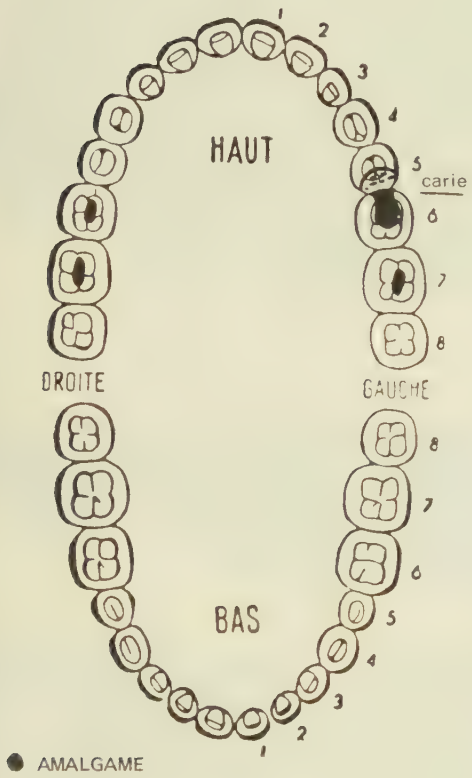
Ce jeune garçon âgé de 12 ans, présente quelques obturations en amalgame; il est régulièrement examiné et traité.

La prémolaire 35 présente une carie distale en rapport avec l'obturation en amalgame mésiale de la dent 36.
Nous y avons prélevé l'échantillon n° 21, qui a donné à l'analyse les mesures suivantes.

Poids de l'échantillon	54,84 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	0,3646 γ/mg
Cu	0,0165 γ/mg
Ag	0,011 γ/mg

OBSERVATION N° XX.

ECHANTILLON N° 22. Cliché n° 1

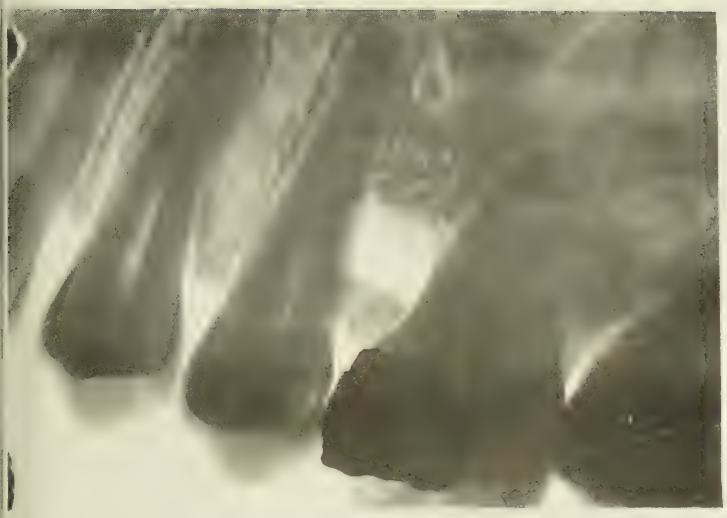


La bouche de ce patient est en bon état et la denture de belle qualité. Nous y voyons quelques obturations en amalgame peu nombreuses et petites.

La prémolaire 25 présente une cavité de carie distale en rapport avec l'obturation en amalgame mésiale de la dent 26; c'est l'obturation la plus volumineuse de la bouche. Dans la cavité de carie, nous avons prélevé l'échantillon n° 22, qui a donné à l'analyse les valeurs portées sur le tableau ci-dessous.

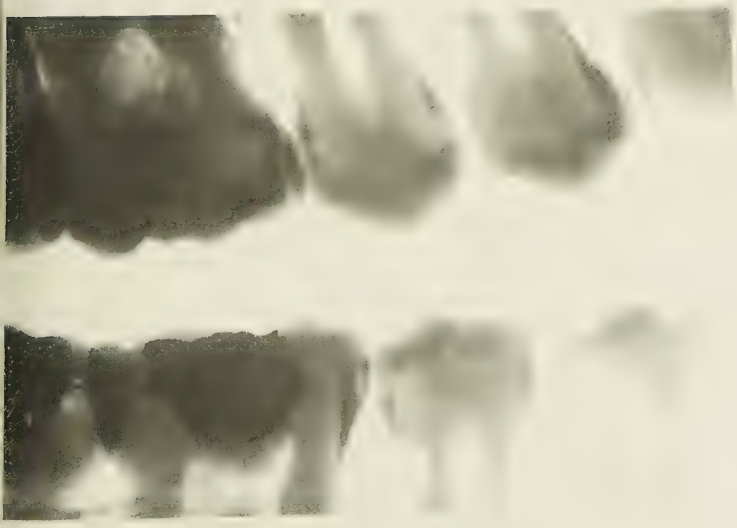
Le cliché n° 1 de la page 129 montre que dans cette bouche, telle que nous venons de la décrire, une carie s'est développée près de l'obturation la plus volumineuse et dont la face proximale est anfractueuse et mal finie.

Poids de l'échantillon	1,02 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	0 à T
Cu	1,089 γ/mg
Ag	0,408 γ/mg



Cliché n° 1. Observation n° XX
Mauvaise finition de l'amalgame de la dent 26.

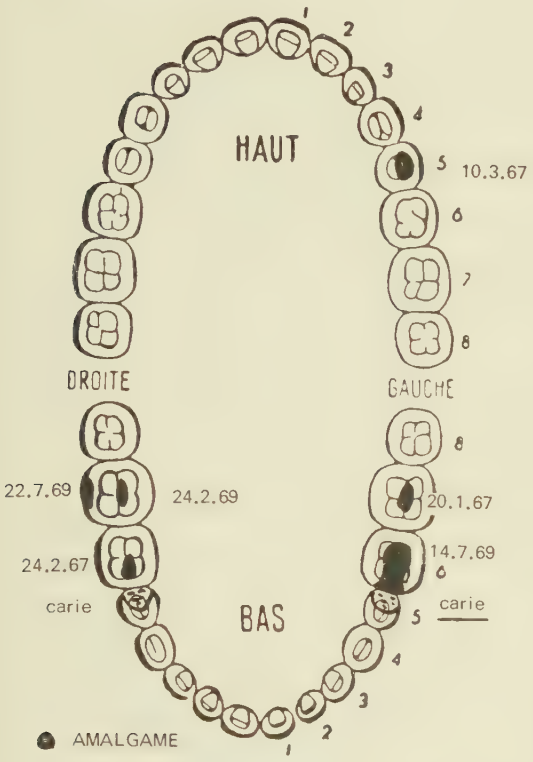
Cliché n° 2. Observation n° X
B.W. côté gauche: carie distale de la dent 35, mauvaise finition de l'amalgame de la dent 36.



Cliché n° 3. Observation n° X
B.W. côté droit: carie distale de la dent 45, non en rapport avec une pièce métallique.

OBSERVATION N° X.

ECHANTILLON N° 23. Clichés n° 2 et 3



Ce jeune homme âgé de 17 ans porte quelques reconstitutions dentaires en amalgame; il est régulièrement suivi.

La dent 35 présente une carie importante en rapport avec l'obturation mésio-occlusale de la dent 36 et le cliché radiographique B.W. n° 2 (page 129), du côté gauche, montre que cette obturation est mal finie. Un cliché radiographique B.W. (n°3, page 129), pratiqué du côté droit, a montré une carie distale sur la dent 45. Ces deux cavités sont morphologiquement très différentes.

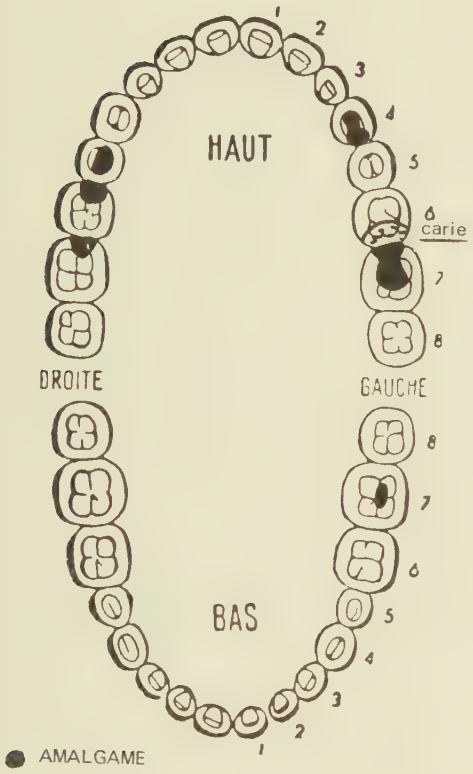
Dans la cavité de la dent 35, nous avons prélevé l'échantillon n° 23 qui a donné à l'analyse les valeurs portées sur le tableau ci-dessous. Nous n'avons pas pu effectuer de prélèvement dans la cavité distale de la dent 45.

A part l'intérêt qu'il offre par sa comparaison avec le cliché n° 3, le cliché n° 2 rappelle le n° 1 par le mauvais état de finition de sa face proximale. Nous remarquerons également dans cette observation la symètrie des 2 caries.

Poids de l'échantillon	23,34 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	1,028 γ/mg
Cu	0,028 γ/mg
Ag	0,017 γ/mg

OBSERVATION N° IX.

ECHANTILLON N° 24.



Cette jeune patiente (environ 25 ans) porte peu de restaurations dentaires métalliques; toutes sont construites en amalgame; elle porte également quelques obturations en silicate.

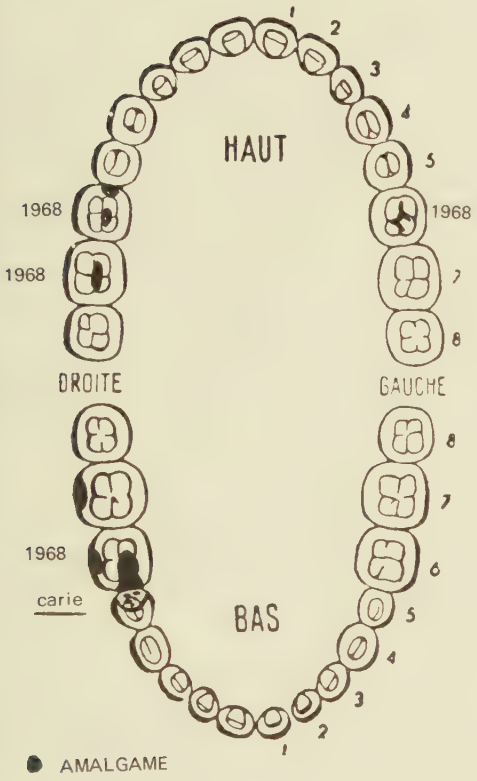
La dent 26 présente sur sa face distale une carie en rapport avec l'obturation mésio-occlusale de la dent 27. Nous y avons prélevé l'échantillon n° 24 qui a donné à l'analyse les valeurs portées sur le tableau ci-dessous.

Des clichés B.W. pratiqués à droite et à gauche ont montré d'autres caries proximales, mais ne présentaient pas un intérêt suffisant pour être retenus.

Poids de l'échantillon	32,26 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	T
Cu	0,025 γ/mg
Ag	0,038 γ/mg

OBSERVATION N° IV.

ECHANTILLON N° 25.



Cette jeune patiente d'environ 15 ans, ne présente que quelques obturations en amalgame mises en bouche il y a 3 ans.

La dent 45 présente une carie distale en rapport avec une obturation en amalgame sur la face mésiale de la dent 46. Nous y avons prélevé le 9 avril 1971 l'échantillon n° 25.

Une radiographie B.W. du côté gauche a révélé la présence d'autres cavités de caries proximales sans rapport avec une pièce métallique.

L'échantillon a donné à l'analyse les valeurs suivantes.

Poids de l'échantillon	21,52 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	0,844 γ/mg
Cu	0,058 γ/mg
Ag	0,009 γ/mg

LE TABLEAU A (page 135).

Les échantillons classés dans ce tableau proviennent de bouches ne présentant qu'un seul type d'alliage.

Nous avons établi un rapport métal vil/métal noble. Ce rapport est significatif de la polarité présentée dans la bouche par la reconstitution près de laquelle l'échantillon a été prélevé. Ce rapport a été défini entre Cu et Ag et non entre Sn et Ag parce que la présence de Sn n'est pas d'une constance rigoureuse dans les échantillons; cependant, sa concentration relativement forte lorsqu' il est présent, ou son absence, seront envisagées et interprétées dans l'étude particulière des cas.

La somme des concentrations des métaux que nous avons calculées témoigne du taux de corrosion plus ou moins élevé.

Bien que dans le cas de ce tableau, les alliages en présence soient du même type, nous remarquons que la corrosion est assez forte du fait des micropiles qui se constituent et la sélectivité qui apparaît autour de chaque obturation confirme qu'une D.D.P. existe tout de même d'une obturation à l'autre. C'est ainsi que le rapport égal à 8 dans la première colonne (alliages d'or), 4 dans la seconde (alliages Cr-Co), 6 dans la huitième (amalgames), indique un comportement fortement cathodique de la pièce métallique voisine de la carie; le rapport inversé 2/3 dans la septième colonne témoigne, au contraire, d'un comportement anodique et nous insisterons sur le fait qu'il s'agit d'amalgames dans ces deux derniers cas. Dans la colonne 7, l'échantillon nº 24/IX ne contenait par ailleurs que des traces de Sn; la proportion métal vil/métal noble semble ici parfaitement régulière.

La forte concentration de Sn dans les échantillons 16/XXVI et 27/III (observations pages 124 et 126) a déjà été étudiée avec le tableau D, nous n'y reviendrons pas; ajoutons seulement que

nous ne pourrons pas parler d'une sélection particulière dans le dernier cas (colonne nº 3), où il n'y a pas en fait de rapport réel avec une pièce métallique, et que nous avions retenu pour comparaison.

Les échantillons 21/XIX, 23/X et 25/IV des colonnes nº4, 6 et 8 (observations pages 127, 130 et 132) proviennent de patients jeunes entre 12 et 17 ans; le taux de Sn y est plus important que dans les échantillons 22/XX (page 128) et 24/IX (page 131) des colonnes nº 5 et 7 où le Sn ne figure qu'à l'état de trace. Les amalgames y sont récents et sujets à une corrosion plus intense; de plus, dans le cas 23/X (observation page 130) où le taux de Sn est le plus élevé, la comparaison des clichés nº 2 et 3 (page 129) montre la différence entre la morphologie de la cavité de carie de la dent 35 qui s'étale en regard des rugosités de l'obturation voisine et celle de la dent 45 qui correspond à la description classique.

Le cliché radiographique nº 1 (page 129) montre pour le cas de l'échantillon 22/XX (observation page 128) le même mauvais état de finition de l'obturation et le même type de cavité occupant la face proximale entière. Le taux de Sn y est faible mais celui de Cu très élevé.

TABLEAU : A UN SEUL ALLIAGE PRESENT

PRELEVEMENT PRES DE L'ALLIAGE

	OR	ACIER		AMALGAME				
Observation n°	26	38	3	19	20	10	9	4
Prélèvement n°	16	26	27	21	22	23	24	25
Sn	1,561	T	1,376	0,3646	T	1,028	T	0,844
Cu	0,080	0,102	0,068	0,0165	1,089	0,028	0,025	0,058
Ag	0,0108	0,027	0,0451	0,011	0,408	0,017	0,038	0,009
Cr		0	0					
Co		0	0					
Ni		0	0					
	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu < Ag	Cu > Ag
Rapport $\frac{Cu}{Ag}$	8	4	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{10}{4}$	1,5	$\frac{2}{3}$	6
Colonne n°	1	2	3	4	5	6	7	8

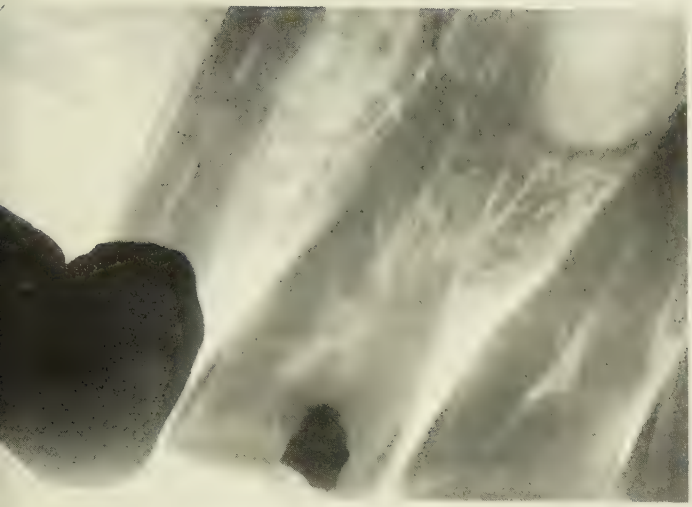
Les valeurs sont données en γ/mg

ETUDE DU TABLEAU B

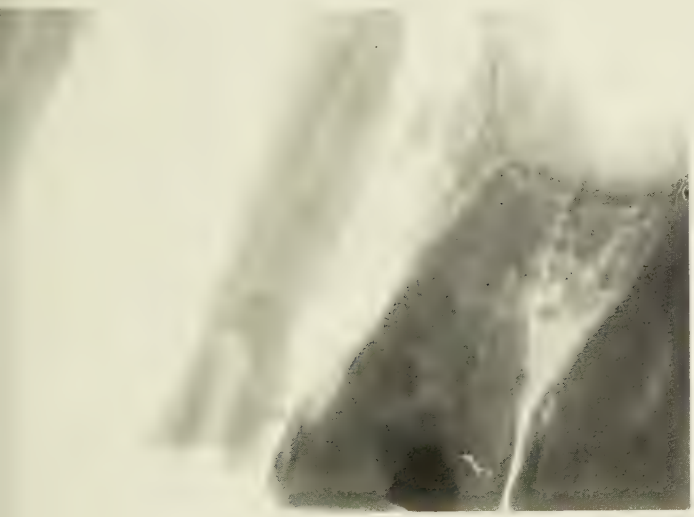
(page 170 bis)

Les observations suivantes, correspondant aux échantillons classés dans le tableau B, se présentent dans l'ordre des colonnes de celui-ci, elles-mêmes numérotées de 1 à 23 :
1/I , 2/II, 6/XII, 7/XIV, 8/XVII, 9/XXI, 48/XXI, 49/XXI, 11/XXIV , 12/XXVII, 13/XXVII, 14/XXX, 47/XXXVII, 51/XXXVI, 44/XXXVI, 3/V, 4/VII, 10/XXIII, 15/XXXII, 18/XXXI, 19/XXV, 20/XXV, 17/XXXIII.

Les échantillons seront cités, comme dans le tableau A, par leurs deux nombres, et le tableau est placé, pour la commodité, après son étude et son commentaire.



Cliché n° 4. Observation n° I
28 novembre 1967. Pas de carie
sur la dent 26.

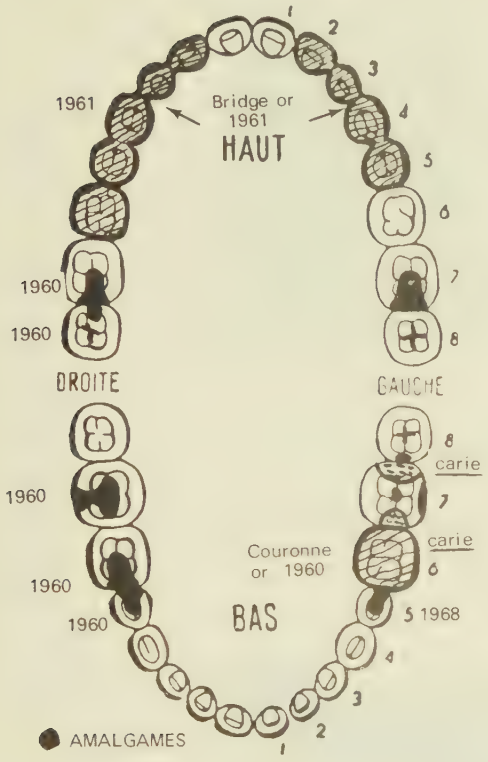


Cliché n° 5. Observation n° I
26 juillet 1969. Traitement de
la dent 25, pas de carie sur
la dent 26.

Cliché n° 6. Observation n° I
26 mai 1971. Carie sur la dent
26.

OBSERVATION N° II.

ECHANTILLON N° 2. Clichés n° 7 et 8 (page 140)



La bouche de cette patiente est suivie et surveillée, comme en témoignent les nombreuses reconstitutions dentaires. Nous voyons 2 grands bridges en or (dents 12 à 16 et 22 à 25) au maxillaire supérieur, une couronne en or (dent 36) au maxillaire inférieur et de nombreuses obturations en amalgame. Les dates de confection de ces travaux sont portées sur le schéma.

La dent 37 portait depuis 1960 une obturation en amalgame à son collet vestibulaire et une autre sur la face occlusale. En 1971, elle présente une carie disto-occlusale qui conduit à la dépulpation et le cliché de contrôle n° 8, pratiqué après obturation des canaux, montre une carie mésiale en rapport avec la couronne en or de la dent 36. Nous y avons prélevé l'échantillon n° 2.

L'échantillon n° 2 est essentiellement constitué par le pan d'émail qui faisait le pont au dessus de la cavité de carie. A l'analyse cet échantillon a donné les valeurs portées sur le tableau ci-dessous.

L'obturation occlusale avait été retirée pour la dépulpation; l'obturation vestibulaire, qui n'était pas en rapport avec les nouvelles cavités était demeurée en place. Le cliché n° 7, pratiqué en 1960 lors du traitement de la dent 36, montre la face mésiale de la dent 37 parfaitement intacte à l'époque.

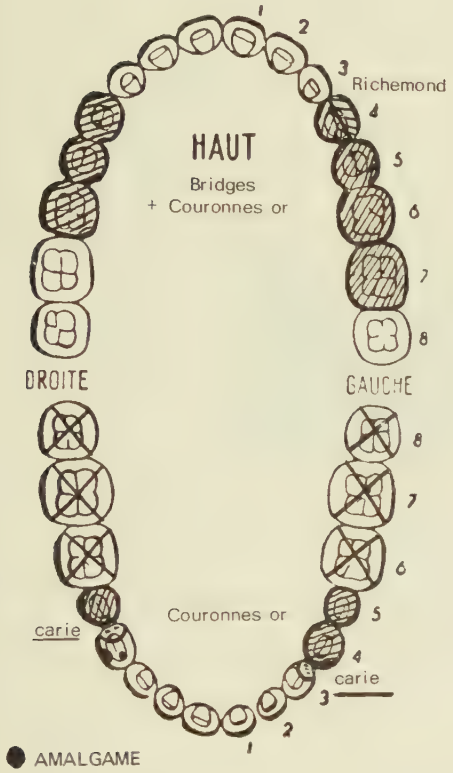
Poids de l'échantillon:	15,87 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	0
Cu	0,62 γ/mg
Ag	0,0252 γ/mg

Cliché n° 7. Observation n° II
1960. Traitement de la dent 36
pas de carie sur la dent 37.

Cliché n° 8. Observation n° II
1970. Obturation des canaux de
la dent 37; la carie mésiale.

OBSERVATION N° XII

ECHANTILLON N° 6. Clichés n° 9 et 10 (page 142)



Chez cette patiente, nous avons dû retirer des bridges en or au maxillaire inférieur à droite et à gauche. Ces bridges avaient été portés pendant une dizaine d'années. Nous nous trouvons encore à présent avec de grandes surfaces en or aux deux maxillaires.

La dent 44 qui porte les deux seules obturations visibles en amalgame, obturations de petite taille, présente une carie distale en rapport avec la couronne en or de la dent 45 (cliché n° 9)

Un cliché radiographique n°10, pratiqué au niveau de la dent 33, montre une carie sur la face distale de cette dent, en rapport avec la couronne en or de la dent 34. Nous n'avons pas pu prélever d'échantillon dans cette cavité trop petite.

L'échantillon n° 6 a été prélevé à droite; cet échantillon a donné à l'analyse les mesures suivantes.

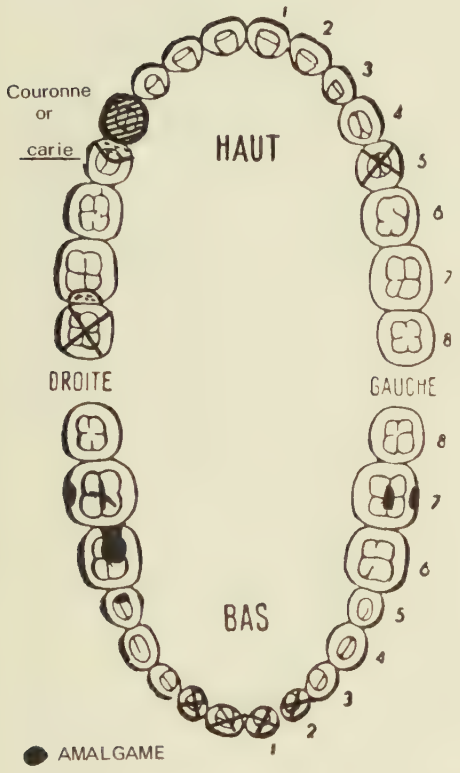
Poids de l'échantillon	17,61 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	1,548 γ/mg
Cu	0,042 γ/mg
Ag	0,0454 γ/mg

Cliché nº 9. Observation nº XII
Carie de la face distale de la dent 44, en rapport avec la couronne en or de la dent 45.

Cliché nº 10. Observation nº XII
Carie de la face distale de la dent 33, en rapport avec la couronne en or de la dent 34.

OBSERVATION N° XIV.

ECHANTILLON N° 7.



Les dents 31 et 41 sont absentes; nous avons dû retirer les dents 32 et 42 qui présentaient de grosses lésions apicales avec fistulisation dans le vestibule.

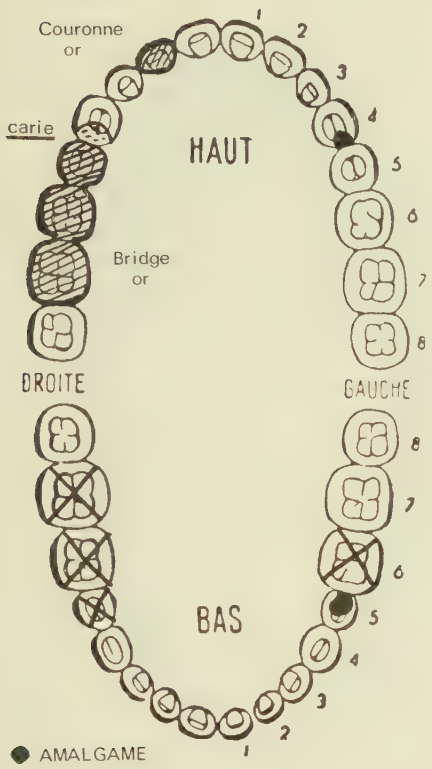
Nous avons retiré également la racine de la dent 25 fracturée, qui avait porté une dent à pivot du type Richemond en or et résine.

Les dents 17 et 18 présentent 2 caries proximales respectivement sur leur face distale et mésiale. Nous voyons encore en bouche quelques obturations en amalgame et une couronne en or sur la dent 14. La dent 15 présente une carie mésiale en rapport avec cette couronne; nous y avons prélevé l'échantillon n° 7, dont l'analyse a donné les mesures suivantes:

Poids de l'échantillon	52,28 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	T à 0,1912 γ/mg
Cu	0,009 γ/mg
Ag	0,0038 γ/mg

OBSERVATION N° XVII.

ECHANTILLON N° 8.

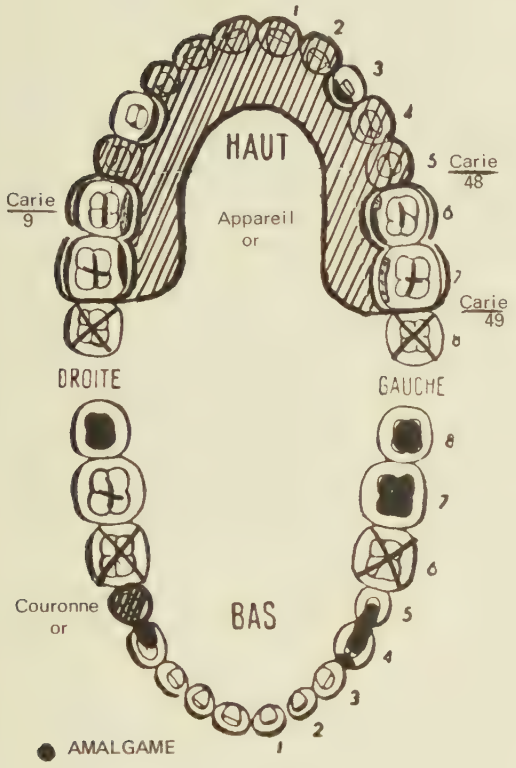


Cette patiente en cours de traitement portait déjà depuis assez long temps le bridge installé sur les dents 15,16,17 et la couronne de la dent 12. Les amalgames présents en bouche sont très récents et de surface réduite par rapport aux surfaces d'or visibles. La dent 14 présente une carie distale en rapport avec la couronne en or de la dent 15. Nous y avons pratiqué le prélèvement n° 8 et cet échantillon a donné à l'analyse les mesures suivantes.

Poids de l'échantillon	21,11 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	1,325 γ/mg
Cu	0,053 γ/mg
Ag	0,018 γ/mg

OBSERVATION N° XXI.

ECHANTILLONS N° 9, 48, 49. Photographies n° 5,6,7,8 (page 147)



Cette patiente,âgée d'une trentaine d'années, porte au maxillaire supérieur un appareil de prothèse en or depuis environ 5 ans. Sa denture présente en outre une couronne en or sur la dent 45 et de nombreuses obturations en amalgame.

Si nous retirons l'appareil, nous sommes frappés de voir qu'il est littéralement dessiné sur les faces des dents entrant en contact avec lui, soit par des obturations déjà faites, soit par des caries nouvelles. Les photographies n° 5, 6, 7 et 8 montrent parfaitement l'état de la denture. Les caries se présentent à des stades plus ou moins avancés depuis la tache d'émail blanc crayeux jusqu'à la cavité classique avec ses tissus ramollis de couleur brune.

Sur la gencive entourant la dent 16, on note une coloration grise caractéristique de l'imprégnation des tissus par les produits métalliques de corrosion. La dent elle-même porte une obturation en amalgame sur sa face occlusale et une autre sur sa face palatine; aux extrémités de cette obturation, là où l'appareil entre encore en contact avec la dent, deux nouvelles caries sont en cours d'évolution. Dans la carie distale, nous avons prélevé l'échantillon n° 9.

Nous n'avons pas réussi à effectuer de prélèvement dans les caries de l'émail ciculaires des dents 14 et 23. La dent 26

porte une obturation en amalgame sur sa face occlusale et une autre sur sa face palatine; aux extrémités mésiale et distale de cette dernière, nous voyons se développer de nouvelles caries, comme sur la molaire 16, là où l'appareil entre en contact avec la dent. Nous y avons prélevé l'échantillon n° 48.

La dent 27 porte une obturation en amalgame sur sa face occlusale; sur sa face palatine, l'émail est blanc crayeux dans la zone entrant en contact avec l'appareil; nous y avons raclé une poussière d'émail constituant l'échantillon n° 49.

A l'analyse les 3 échantillons ont donné les mesures suivantes:

Echantillon n°	9	48	49
Poids des échantillons	13,07 mg	11,81 mg	4,29 mg
Concentrations métalliques:			
Sn	1,530 γ/mg	3,175 γ/mg	T
Cu	0,076 γ/mg	0,169 γ/mg	0,233 γ/mg
Ag	0,091 γ/mg	0,173 γ/mg	0,132 γ/mg

OBSERVATION N° XXI

Photographie n° 5. Maxillaire supérieur, appareil en place.

Photographie n° 6. Maxillaire inférieur. Noter les amalgames.

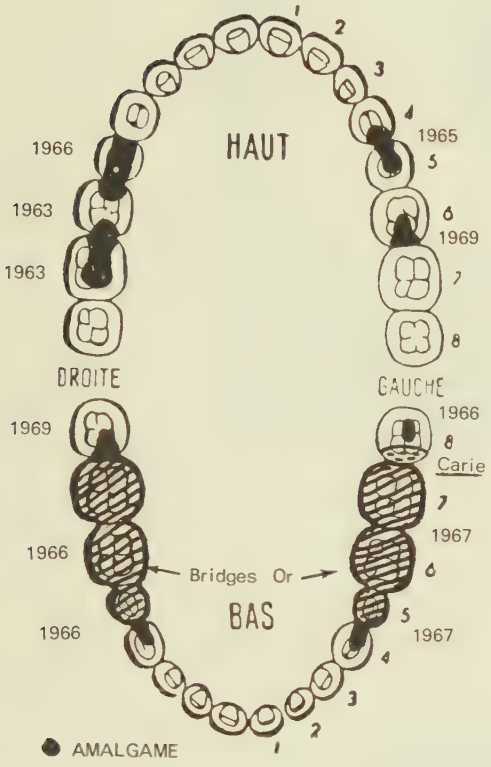
Photographie n° 7. Maxillaire supérieur droit, face palatine.

Photographie n° 8. Maxillaire supérieur gauche, face palatine.

Noter sur les dents les caries circulaires correspondantes aux surfaces de contact avec l'appareil.

OBSERVATION N° XXIV.

ECHANTILLON N° 11. Clichés n° 11 et 12 (page 149)



Dans la bouche de cette patiente, nous trouvons d'assez nombreux amalgames, mais aussi une surface d'or assez importante correspondant à deux bridges au maxillaire inférieur.

La dent 38 porte une obturation occlusale en amalgame depuis 1966; le bridge correspondant aux dents 37, 36 et 35 a été posé à la même époque.

En 1971, la dent 38 présente une carie mésiale importante en rapport avec la couronne de la dent 37. Les clichés 11 et 12 montrent la dent 38 aux époques citées.

Nous avons prélevé dans la cavité de carie l'échantillon n° 11; avant d'effectuer ce prélèvement et afin de ne pas risquer de contaminer l'échantillon, nous avons retiré l'ancienne obturation en amalgame et bien lavé la dent sous jet d'eau. Cet échantillon a donné à l'analyse les valeurs suivantes.

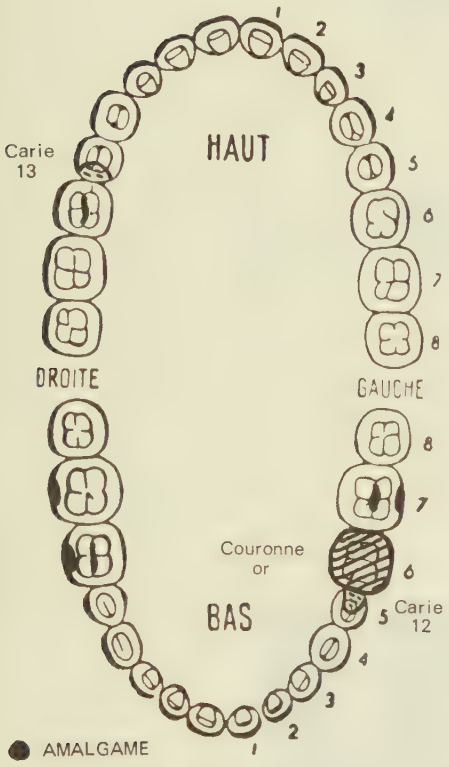
Poids de l'échantillon	33,32 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	1,5006 γ/mg
Cu	0,033 γ/mg
Ag	0,036 γ/mg

Cliché n° 11. Observation n° XXIV 1966. Traitement de la dent 37, la dent 38 est intacte.

Cliché n° 12. Observation n° XXIV 1971. Carie importante mésiale de la dent 38 correspondant à la couronne en or de la dent 37.

OBSERVATION N° XXVII.

ÉCHANTILLONS N° 12 et 13. Clichés n° 13 et 14 (page 151)



Ce jeune homme est âgé de 17 ans. Les radiographies de contrôle B.W. à gauche et à droite (clichés n° 13 et 14) montrent une carie sur la face distale de la prémolaire 35 en rapport avec la couronne en or de la dent 36, dans laquelle nous avons prélevé l'échantillon n° 12 et une cavité de carie sur la face distale de la prémolaire 15, sans rapport avec une reconstitution métallique quelconque; nous y avons prélevé l'échantillon n° 13 pour comparaison.

Notre patient présente encore d'autres caries proximales. Il n'a en bouche que deux types d'alliages métalliques, or et amalgame, qui y ont été installés récemment. Nous avons mesuré sur ces échantillons les valeurs suivantes.

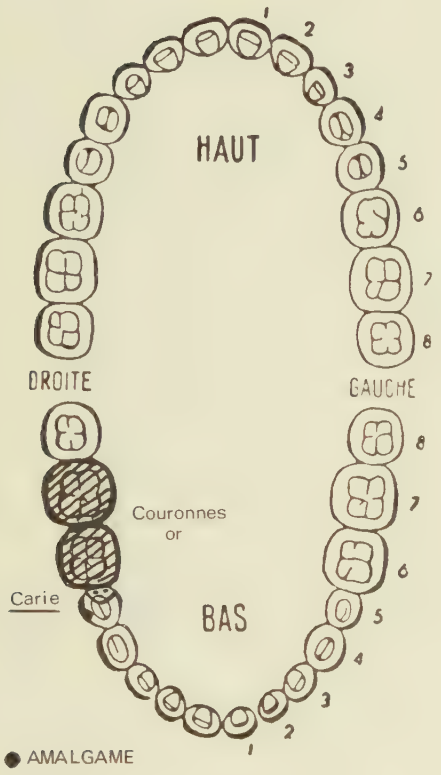
Echantillon n°	12	13
Poids de l'échantillon	10,44 mg	35,98 mg
Concentrations métalliques:		
Sn	1, 915 γ/mg	1,263 γ/mg
Cu	0,095 γ/mg	0,018 γ/mg
Ag	0,019 γ/mg	0,011 γ/mg

Cliché n° 13. Observation n° XXVII
Carie distale sur la dent 35 en rapport avec la couronne en or de la dent 36. B.W. côté gauche.

Cliché n° 14. Observation n° XXVII
Carie distale sur la dent 15; pas de rapport métallique. B.W. droit.

OBSERVATION N° XXX.

ECHANTILLON N° 14.

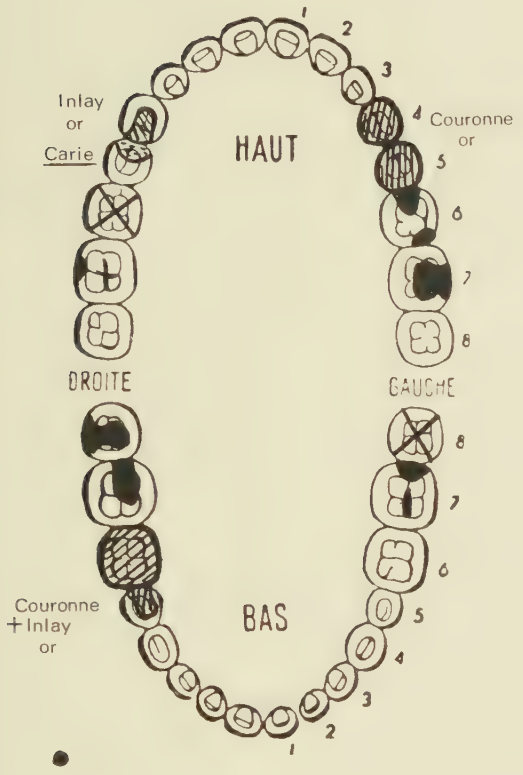


Cette observation, assez incomplète, ne nous est pas personnelle. Nous savons simplement que les molaires 47 et 46 portent des couronnes en alliage d'or, que la prémolaire 45 porte une petite obturation en amalgame à son collet vestibulaire et présente une carie occluso-distale en rapport avec la couronne en or. Sur l'échantillon n° 14, qui y a été prélevé, nous avons mesuré les valeurs suivantes.

Poids de l'échantillon	11,15 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	0,815 γ/mg
Cu	0,049 γ/mg
Ag	0,018 γ/mg

OBSERVATION N° XXXVII.

ECHANTILLON N° 47.



La denture de ce patient est assez régulièrement suivie. Elle présente des reconstitutions en or (couronnes et inlays) et des obturations en amalgame.

La prémolaire 15 présente sur sa face mésiale une cavité de carie en rapport avec l'inlay en or occluso-distal de la dent 14. Nous y avons prélevé l'échantillon n° 47.

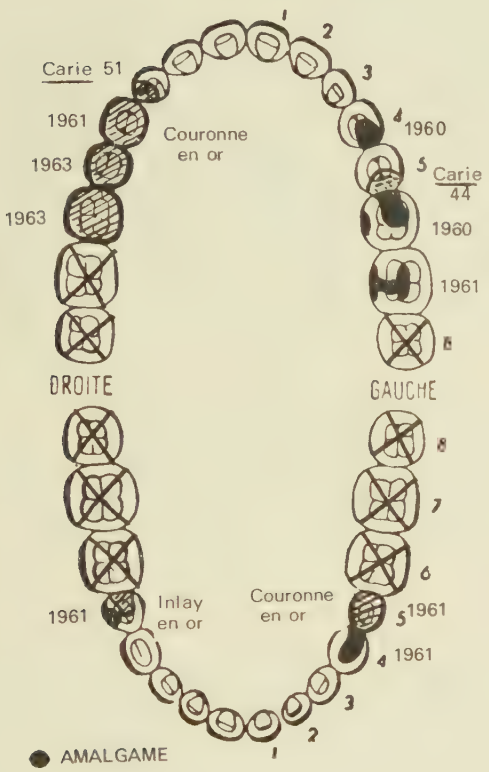
Au collet distal de la prémolaire 14, nous notons une récidive de carie au dessous de l'inlay.

Nous avons mesuré sur cet échantillon les valeurs suivantes.

Poids de l'échantillon	31,79 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	1,048 γ/mg
Cu	0,062 γ/mg
Ag	0,014 γ/mg

OBSERVATION N° XXXVI.

ECHANTILLONS N° 44 et 51. Clichés n° 15, 16, 17 et 18 (page 156)



En 1971, ce patient présente de nombreuses obturations en silicate sur les dents antérieures; la molaire 26 qui porte deux obturations importantes en amalgame, l'une palatine et l'autre mésio-occlusale, présente une carie importante à son collet mésio-vestibulaire, qui nous a conduit à l'amputation de la racine correspondante.

La prémolaire 25 présente une carie distale à son collet; nous ne pouvons définir si elle est consécutive à l'obturation voisine; nous y avons cependant prélevé l'échantillon n° 44. Les clichés 15 et 16, pratiqués, l'un en 1962, l'autre en 1971, montrent bien cette situation.

Nous noterons que la molaire 27 présente elle aussi une carie légère sur son collet palatin.

La canine 13 présente sur sa face distale une cavité de carie importante en rapport avec une couronne en or portée par la prémolaire 14; nous y avons prélevé l'échantillon n° 51. Cette cavité avait été déjà obturée antérieurement avec un ciment au silicate et la curette n'a rapporté qu'une fine poussière noire , au lieu des copeaux de dentine habituels. Les clichés radiographiques n° 17 et 18 illustrent cette situation.

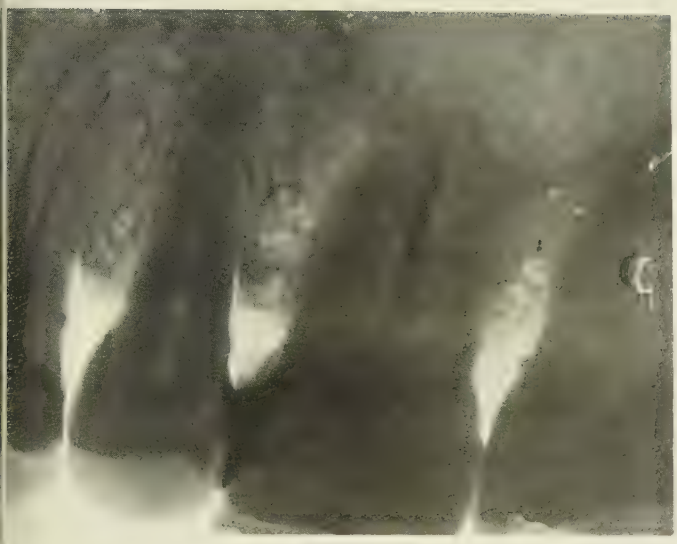
En définitive, nous trouvons ici essentiellement deux

types d'alliages, or pour les couronnes et les inlays, amalgame pour les obturations.

En 1960, ce patient avait fait l'essai à deux reprises de porter un appareil en alliage Cr-Co au maxillaire inférieur (Vitallium puis Wisil). Les deux fois il avait manifesté des symptômes de galvanisme buccal avec sialorrhée, piccotements à la gorge et l'appareil avait été retiré. Nous aurions aimé faire l'essai d'un appareil en or, mais notre patient n'y a pas consenti.

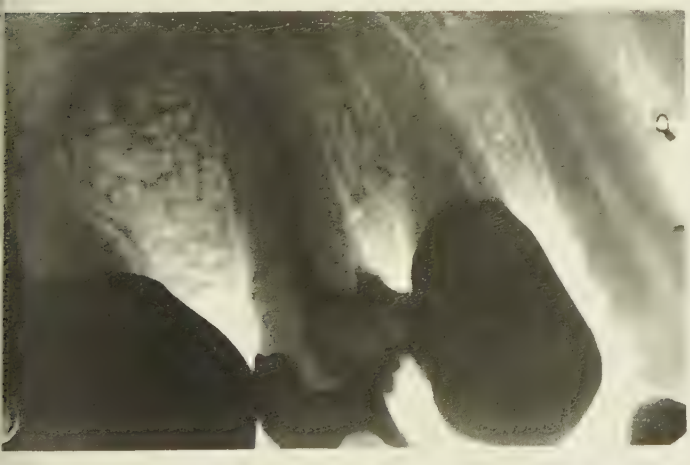
Nous avons mesuré sur les échantillons les valeurs suivantes.

Echantillon n°	44	51
Poids de l'échantillon	30,81 mg	13,85 mg
Concentrations métalliques:		
Sn	T	1,805 γ/mg
Cu	0,064 γ/mg	0,060 γ/mg
Ag	0,022 γ/mg	0,0164 γ/mg



Liché n° 15. Observation n° XXXVI.
962: Traitement de la dent 26: la
ace distale de la dent 25 est
ntacte.

Cliché n° 16. Observation n° XXXVI.
Caries sur la face mésiale de la
dent 26 et la face distale de la
dent 25.

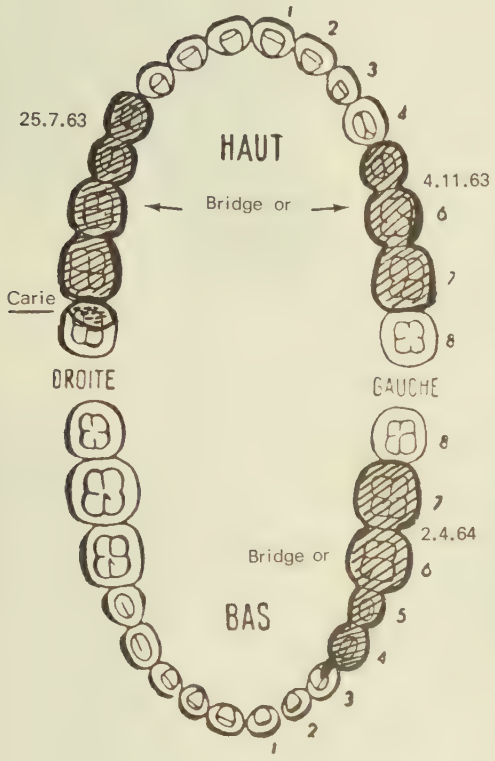


liché n° 17. Observation n° XXXVI
raitement de la dent 15 ; face
istale de la dent 13

Cliché n° 18. Observation n° XXXVI.
1971. Carie distale de la dent 13.

OBSERVATION N° V.

ECHANTILLON N° 3. Clichés n° 19 et 20 (page 158)



Ce patient porte trois bridges en or et résine depuis 1964; certaines des dents qui supportent ces bridges sont dépulpées et obturées à l'amalgame, d'autres sont demeurées vivantes et sans obturation. Ces prothèses ont été démontées pour être remplacées par d'autres en céramo-métallique.

C'est ainsi qu'une radiographie pratiquée au niveau de la dent 17 (cliché n° 20) a révélé une carie mésiale sur la dent 18. Cette carie a évolué en rapport avec une pointe d'amalgame qui venait apparaître au collet de la coiffe en or. Nous y avons prélevé l'échantillon n° 3.

Le cliché radiographique n° 19, pratiqué lors du traitement de la dent 17, montre la face mésiale intacte de la dent 18. Aucune carie n'est visible sur les autres dents.

L'échantillon a donné à l'analyse les mesures suivantes.

Poids de l'échantillon	22,16 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	0 à T
Cu	0,045 γ/mg
Ag	0,0451 γ/mg

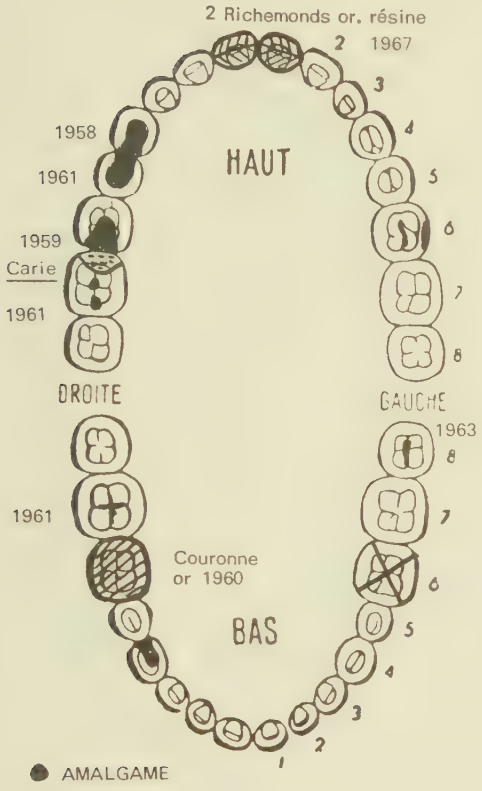
Cliché n° 19.
Observation n° V
1963 : traitement de la dent 17, pas de carie sur la face mésiale de la dent 18.

Cliché n° 20.
Observation n° V
1970 : carie sur la face mésiale de la dent 18.

Cliché n° 21.
Observation n° XXV
Carie distale sur la dent 45; carie du collet sur la dent 44

OBSERVATION N° VII.

ECHANTILLON N° 4.



La bouche de ce patient, végétarien de longue date, est régulièrement surveillée. Elle présente quelques obturations en amalgame et une couronne en or. Les deux dents 11 et 21 sont deux dents à pivot du type Richemond en or et résine.

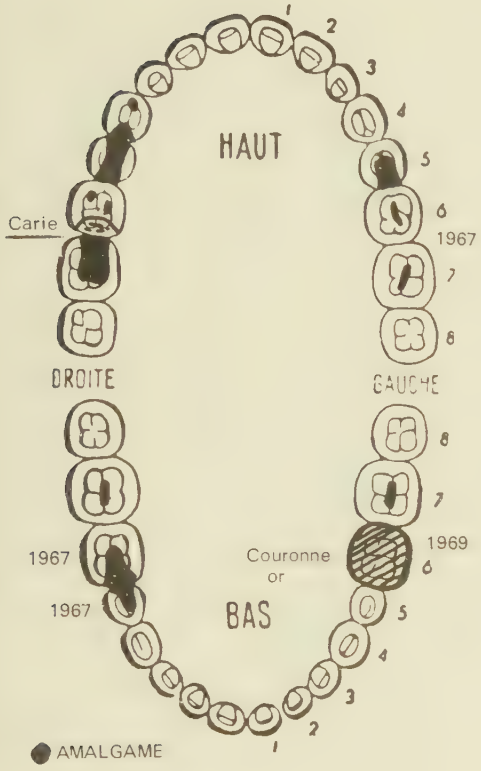
La dent 17 présente une carie mésio-occlusale en rapport avec l'obturation occluso-distale en amalgame de la dent 16. Elle portait depuis 1961 deux petites obturations occlusales en amalgame.

Nous avons effectué dans cette cavité de carie le prélèvement de l'échantillon n° 4 qui a donné à l'analyse les mesures suivantes.

Poids de l'échantillon	26,95 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	0,6746 γ/mg
Cu	0,0278 γ/mg
Ag	0,029 γ/mg

OBSERVATION N° XXIII.

ECHANTILLON N° 10.



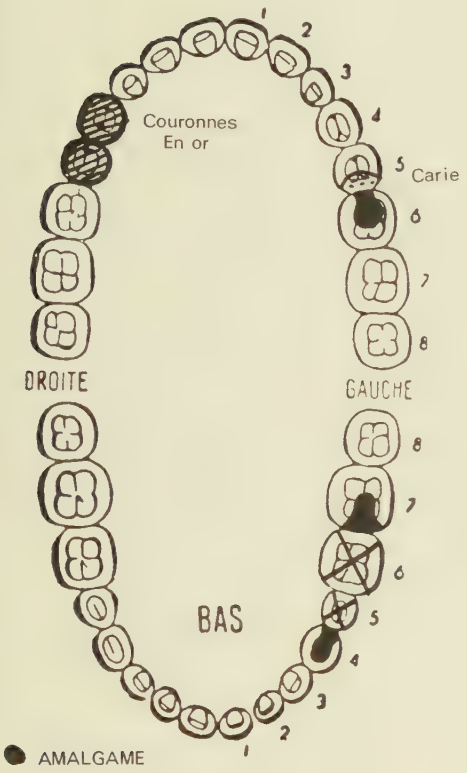
Dans la bouche de cette patiente nous voyons une couronne en alliage d'or et de nombreuses obturations en amalgame.

La molaire 16 porte deux petites obturations sur sa face occlusale et présente sur sa face distale une carie en rapport avec l'obturation mésiale de la dent 17. Nous y avons prélevé l'échantillon n° 10, qui a donné à l'analyse les mesures suivantes.

Poids de l'échantillon	1,15 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	8,695 γ/mg
Cu	0,134 γ/mg
Ag	2,26 γ/mg

OBSERVATION N° XXXII.

ECHANTILLON N° 15.



Rien de particulier à noter au point de vue clinique dans ce cas; nous voyons deux couronnes en alliage d'or et trois obturations en amalgame.

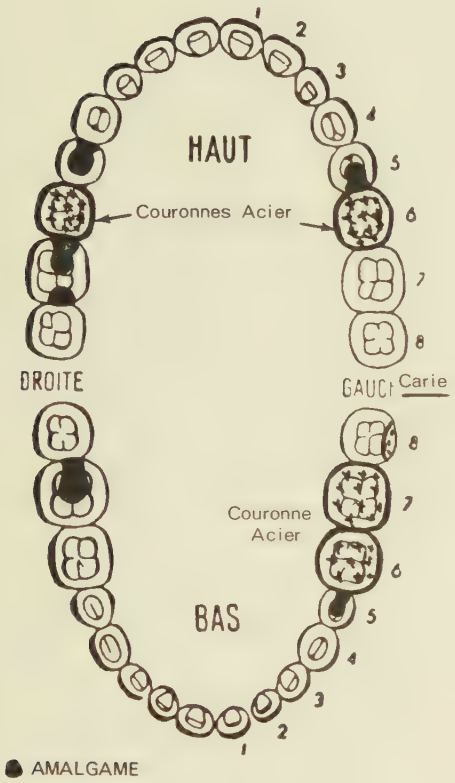
La prémolaire 25 présente sur la face distale une carie en rapport avec l'obturation mésio-occlusale en amalgame de la molaire 26.

Nous y avons prélevé l'échantillon n°15 dont l'analyse a donné les mesures suivantes.

Poids de l'échantillon	19,73 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	1,382 γ/mg
Cu	0,0316 γ/mg
Ag	0,042 γ/mg

OBSERVATION N° XXXI.

ECHANTILLON N° 18.



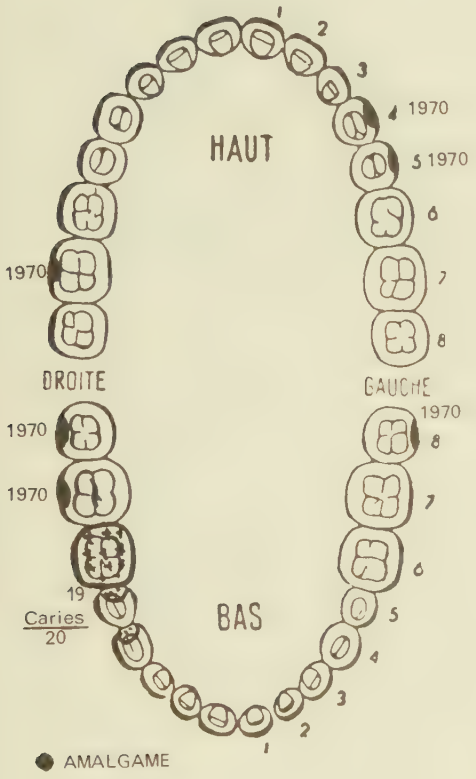
Ce patient dont la denture est surveillée assez régulièrement porte en bouche des reconstitutions en amalgame et des couronnes en acier.

La dent de sagesse 38 présente une carie vestibulaire sans rapport particulier avec une pièce métallique. Nous y avons prélevé l'échantillon n° 18 que nous avons étudié en vue de comparaison avec d'autres cas. A l'analyse nous y avons mesuré les valeurs suivantes.

Poids de l'échantillon	38,41 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	T
Cu	0,017 γ/mg
Ag	0,005 γ/mg
Co	0
Cr	0

OBSERVATION N° XXV.

ECHANTILLONS N° 19 et 20. Cliché n° 21 (page 158)



Dans la bouche de ce patient, nous avons obturé avec de l'amalgame en 1970 une série de caries du collet. Nous n'avions pas alors pratiqué de cliché au niveau de la dent 46 qui portait une couronne en alliage blanc semi précieux ou acier.

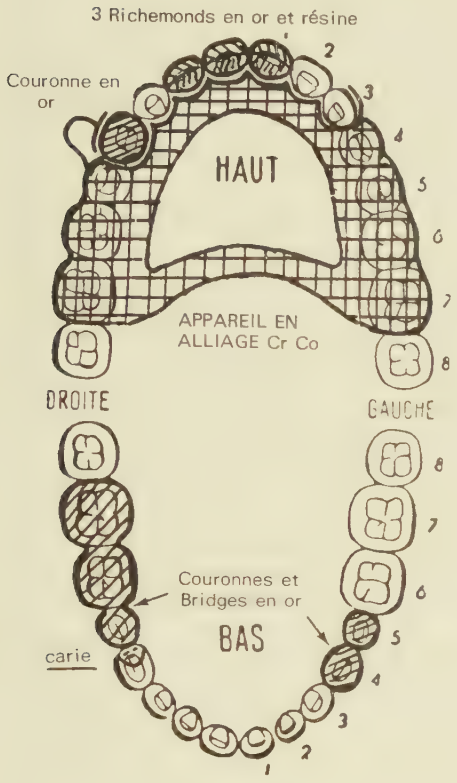
En 1971, nous trouvons sur la prémolaire 45 une carie distale (cliché n° 21) en rapport avec la couronne de la dent 46 et, sur la prémolaire 44 une carie du collet distal sans rapport avec une reconstitution métallique quelconque.

Dans les deux cavités nous avons prélevé respectivement les échantillons n° 20 et 19; nous avons mesuré les valeurs suivantes sur ces échantillons.

Echantillon n°	19	20
Poids des échantillons	38,62 mg	3,86 mg
Concentrations métalliques:		
Sn	0,517 γ/mg	7,772 γ/mg
Cu	0,020 γ/mg	0,199 γ/mg
Ag	0,0107 γ/mg	T
Co	0	0
Cr	0	0

OBSERVATION N° XXXIII.

ECHANTILLON N° 17.



Dans la bouche de ce patient aucun amalgame n'est visible. Nous notons la présence de nombreuses restaurations en alliage d'or, et une prothèse Cr-Co au maxillaire supérieur.

La prémolaire 44 présente une carie sur sa face distale en rapport avec la couronne en or de la dent 45.

Nous y avons effectué le prélèvement n° 17 sur lequel nous avons mesuré les valeurs suivantes.

Poids de l'échantillon	18,10 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	1,325 γ/mg
Cu	0,069 γ/mg
Ag	0,023 γ/mg
Co	0
Cr	T

LE TABLEAU B (page 170 bis).

Sur ce tableau, nous avons réuni les résultats d'analyses de 23 échantillons provenant de patients qui portent en bouche deux types d'alliages différents.

Nous avons caractérisé 3 combinaisons: dans la combinaison OR-AMALGAME, qui est la plus importante, nous trouvons 14 échantillons prélevés près de pièces en alliages d'or et 5 échantillons prélevés près d'obturations en amalgame; la combinaison ACIER-AMALGAME groupe 3 échantillons prélevés près de pièces en acier et la combinaison OR-ALLIAGE Cr-Co est représentée par un seul échantillon prélevé près d'une pièce en alliage d'or.

Nous avons formulé le rapport $\frac{Cu}{Ag}$ et nous constatons que la majorité des échantillons prélevés près de pièces en or présente un rapport supérieur à 1, sauf 4 où ce rapport est égal à 1; près des pièces en acier ou en alliage Cr-Co, le rappprt est toujours supérieur à 1. A l'opposé, pour tous les échantillons prélevés près d'obturations en amalgame, le rapport est inférieur à 1 sauf dans le cas de la colonne 15.

Nous pensons que sur ce tableau en particulier, le rapport $\frac{Cu}{Ag}$ illustre bien la polarité des alliages présents et la migration des ions qui s'ensuit . Ceci concorde avec ce que nous avons supposé dès le début, qu'il se produit un partage sélectif des ions mis en solution dans la salive, en fonction de la qualité des alliages; les plus électro-négatifs sont attirés en plus grande quantité par les alliages les plus électro-positifs et inversement.

COMBINAISON OR-AMALGAME.

Nous étudierons ensemble les 19 échantillons de la combinaison OR-AMALGAME qui est la plus riche et dont les conditions sont

les plus typiques.

Les ECHANTILLONS 1/I et 2/II des colonnes 1 et 2 présentent des similitudes (observations pages 137,138,139,140): le Sn n'y figure qu'à l'état de traces bien que dans les deux cas, les dents malades portaient des obturations en amalgame; le taux de corrosion est assez fort et le rapport des surfaces or-amalgame est du même ordre de grandeur que l'écart entre leur rapport $\frac{Cu}{Ag}$ respectivement égal à 1,5 et 2,5. Il est intéressant de remarquer dans l'observation nº I que la carie ne s'est pas développée sur la face mésiale de la dent 26 lorsque le bridge qui l'avoisinait était en acier jusqu'en 1969. A cette date, il a été remplacé par un bridge à armature en or et moins de deux ans plus tard, la carie est apparue au contact de ce bridge sur la dent 26.

Tout de suite après ces deux cas, nous étudierons l'ECHANTILLON 7/XIV de la colonne 4 (observation page 143). Le rapport $\frac{Cu}{Ag}$ =2 est sensiblement égal à celui des échantillons 1/I et 2/II. La corrosion y est faible avec très peu de Cu et d'Ag, mais le taux de Sn est assez élevé. Nous pensons que cela serait dû à la surface relativement grande des amalgames par rapport à celle de la seule couronne en or présente.

Les ECHANTILLONS 6/XII, 11/XXIV, 9/XXI et 48/XXI des colonnes 3, 6, 7 et 9 (observations pages 141,145 et 148), nous l'avons déjà signalé, présentent le caractère commun d'avoir un rapport $\frac{Cu}{Ag}$ sensiblement égal à 1, donc un taux d'Ag supérieur ou égal à celui du Cu, comme dans le cas des échantillons prélevés près d'obturations en amalgame; le taux de Sn y est aussi très élevé et il augmente parallèlement à celui de l'Ag. Dans trois cas, nous avons noté qu'une obturation en amalgame était présente sur la dent, très près de la cavité de carie; on pourrait alors se demander si les échantillons n'auraient pas dû être considérés comme prélevés auprès d'amalgames. Nous noterons encore que dans ces quatre observations, les surfaces d'or sont considérablement plus étendues que celles d'amalgame, ce qui justifierait le taux de corrosion assez élevé.

OBSERVATION Nº XXI (page 145). Sur ce patient, nous avons prélevé 3 échantillons nº 9, 48 et 49 des colonnes 6, 7 et 8. Nous avons vu que les échantillons nº 9 et 48 présentaient un rapport $\frac{Cu}{Ag}$ inférieur à 1 avec un taux de Sn très élevé et d'une façon générale, étaient assimilables à des échantillons prélevés près d'amalgame. L'échantillon nº 49 présente au contraire un rapport $\frac{Cu}{Ag}$ égal à 2 et du Sn à l'état de trace; notons que la dent 27 sur laquelle il a été prélevé, présente une obturation en amalgame sur sa face occlusale mais que ses faces latérales n'en portent pas.

Les 3 échantillons sont témoins d'une corrosion très élevée étant données les fortes concentrations de métaux.

Nous pensons que cette observation illustre bien la loi des aires relatives avec la grande surface d'or que constitue la plaque de l'appareil supérieur. D'autre part, celle-ci entrant en contact avec les obturations des dents 16 et 26, la pile est en état de court-circuit et, tandis que ces obturations constituent l'anode de la pile de corrosion, la plaque elle, constitue la cathode; ainsi peuvent s'expliquer les concentrations typiques que nous avons calculées.

OBSERVATION Nº XXVII (page 150 , colonnes 10 et 11). Ce patient est un adolescent et il n'est pas étonnant qu'il présente des caries et des caries proximales. Les échantillons nº 12 prélevé près de la couronne en or et nº 13 sans contact métallique, contiennent les 3 métaux; l'intérêt de ce cas réside dans les concentrations supérieures que nous avons trouvées dans l'échantillon nº 12 d'une part, et d'autre part, dans les différences de taux que nous avons trouvées entre métaux vils et nobles; et, tandis que le rapport $\frac{Cu}{Ag}$ est égal à 1,5 pour l'échantillon nº 13, il est égal à 5 pour le nº 12, ce qui témoigne une polarité marquée de la couronne et une sélection d'ions. La forme débordante de la couronne en or ne nous a pas permis d'apprécier si la morphologie des cavités de carie était différente dans les deux cas.

Les ECHANTILLONS 8/XVII, 14/XXX, 47/XXXVII des colonnes 5, 12 et 13 (observations pages 144, 152 et 153), sont du type classique de ces cas; les doses d'Ag sont faibles, les doses de Cu assez fortes et les doses de Sn de l'ordre de 1 γ/mg; la corrosion est assez forte et suivie d'une sélection d'ions caractéristique et bien orientée et,si l'on peut peut-être, expliquer la corrosion dans l'observation nº XVII comme une application de la loi des aires relatives, nous ne pouvons en dire autant pour l'observation nº XXXVII où les surfaces d'amalgame sont assez fortes par rapport à celles d'or.

OBSERVATION Nº XXXVI (page 154). Nous avons prélevé sur ce patient les échantillons nº 51 et 44 des colonnes 14 et 15; l'échantillon nº 44 est le seul prélevé près d'un amalgame dont le rapport $\frac{Cu}{Ag}$ soit supérieur à 1. La corrosion est assez forte et ce n'est pas étonnant, si l'on considère la quantité de restaurations métalliques présentes. La concentration de Cu dans les deux échantillons est sensiblement égale et le petit écart que l'on peut noter pour les taux d'Ag semble être largement équilibré par celui de Sn; il se pourrait alors que la sélection des ions ait joué sur le Sn.

ECHANTILLON Nº 3/V de la colonne nº 16 (observation page 157) : L'amalgame présent dans cette bouche n'est pas visible, il est sous la couronne et en faible quantité. La carie où a été prélevé cet échantillon se trouve au collet de la dent 18, en face du bord cervical de la couronne en or de la dent 17, là où apparaît l'amalgame; nous le voyons très bien sur le cliché nº 20 (page 158). Une micropile existe entre les deux alliages et une corrosion assez forte se produit, comme en témoignent les taux de Cu et d'Ag. Le Sn n'a pu que migrer vers les pièces plus nobles et il n'en manque pas en grandes surfaces dans cette bouche.

Les ECHANTILLONS 4/VII, 15/XXXII et 10/XXIII, des colonnes nº 17, 19 et 18 (observations pages 159, 161 et 160), présentent dans cet ordre une progression digne d'intérêt; le rapport $\frac{Cu}{Ag}$ est toujours inférieur à 1; sa valeur s'accentue dans ce même sens en même temps que la corrosion augmente, tandis que les surfaces d'amalgame augmentent par rapport à celles de l'or; ceci ne parait pas en parfaite conformité avec la loi des aires relatives qui considère l'effet destructeur de la corrosion sur la pièce corrodée tandis que nous envisageons ici la quantité d'ions libérés et leur migration. Les taux de Cu, d'Ag et de Sn varient dans le même rapport. Les conditions de ces trois échantillons rappellent celles des échantillons 6/XII, 9/XXI, 48/XXI et 11/XXIV des colonnes nº 3, 6, 7 et 9 que nous avons déjà étudiées et dont le rapport $\frac{Cu}{Ag}$ est aussi inférieur à 1.

COMBINAISON AMALGAME-ACIER.

Nous y trouvons en fait un seul échantillon, car les deux autres ne sont que des témoins.

L'ECHANTILLON 18/XXXI, colonne nº 20 (observation page 162) prélevé en dehors de toute pièce en acier ou en amalgame, présente de faibles concentrations métalliques, et l'on peut supposer que les ions n'y ont été attirés par aucune électrode, mais que, à la faveur des anfractuosités de la cavité, la salive y aurait stagné et décanté ces métaux.

OBSERVATION Nº XXV, colonnes nº 21 et 22 (page 163).
Nous y avons l'échantillon nº 19 prélevé près d'une couronne en alliage blanc semi-précieux ou en acier et l'échantillon nº 20 prélevé pour comparaison. Le contraste est net, les ions Ag ont été attirés par la couronne tandis que le témoin n'en présente que des traces; en contre partie, le Sn a été refoulé et s'est déposé précisément au niveau du témoin à la faveur de la stagnation salivaire au collet,

dans l'interstice des deux dents. Nous pourrions, en vertu de cette distribution, avancer que le métal blanc de la couronne de la dent 46 est assez vil.

Enfin, l'ECHANTILLON Nº 17/XXXIII, de la COMBINAISON OR-ALLIAGE Cr-Co, de la colonne nº 23 (observation page 164), témoigne d'une corrosion assez forte dans une bouche où l'on n'aperçoit pas d'amalgame; la couronne en or se conduit en alliage noble comme en témoigne le rapport $\frac{Cu}{Ag} = 3$; les amalgames siègent certainement au dessous des autres couronnes présentes dans la bouche.

TABLEAU : B 2 ALLIAGES PRESENTS.

	COMBINAISON OR - AMALGAME																		AMALGAME + ACIER			Cr-Co + OR
	PRELEVEMENT PRES DE L'OR													PRELEVEMENT PRES AMALGAME					PRELEVEMENT PRES ACIER			PRELEV. PRES OR
Observ.n°	1	2	12	14	17	21			24	27		30	37	36	36	5	7	23	32	31	25		33
Prélèv.n°	1	2	6	7	8	9	48	49	11	12	13	14	47	51	44	3	4	10	15	18	19	20	17
Sn	0 à T	0 à T	1,548	T à 0,1912	0,947	1,530	3,175	T	1,5006	1,915	1,263	0,815	1,048	1,805	T	T	0,6746	8,695	1,382	T	0,517	7,772	1,325
Cu	0,044	0,062	0,042	0,009	0,053	0,076	0,169	0,233	0,033	0,095	0,018	0,049	0,062	0,06	0,064	0,045	0,0278	0,134	0,0316	0,017	0,020	0,199	0,069
Ag	0,027	0,0252	0,0454	0,0038	0,018	0,091	0,173	0,132	0,036	0,019	0,011	0,018	0,014	0,0164	0,022	0,0451	0,029	2,26	0,042	0,005	0,0107	T	0,023
Cr																				0	0	0	0
Co																				0	0	0	T
	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu < Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu < Ag	Cu < Ag	Cu > Ag	Cu < Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu=Ag	Cu < Ag	Cu < Ag	Cu < Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag
Rapport Cu/Ag	1,5	2,5	1	2	3	≠ 1	≠ 1	2	≠ 1	5	1,5	2,5	4	4	3	1	≠ 1	1/20	1/1,5	3	2		3
Colonne n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Les valeurs sont données en γ/mg

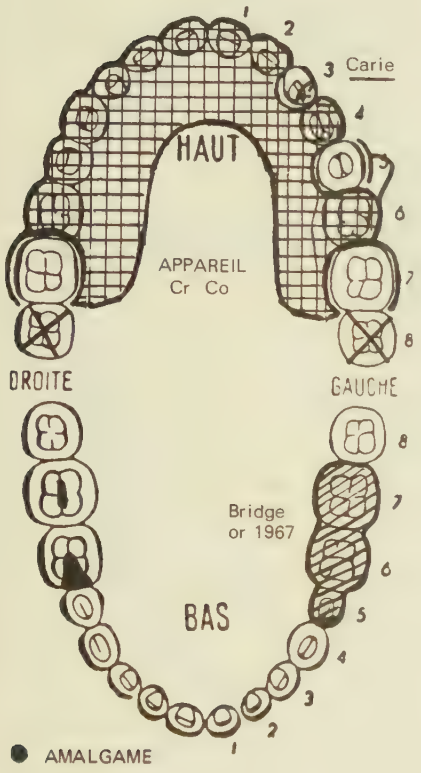
ETUDE DU TABLEAU C

(page 189)

Les observations du tableau C se suivent dans l'ordre: XXVIII, XXII, VI, XXXIV, VIII, XXIX, XV, XIII, XVI, qui n'est pas exactement celui du tableau du fait que plusieurs observations comportent deux échantillons et plus, se répartissant dans des groupes différents. L'ordre dans lequel ces échantillons seront étudiés présentera aussi une légère modification dans l'intérêt de la discussion et les colonnes ont été numérotées de 1 à 15.

OBSERVATION N° XXVIII.

ECHANTILLON N° 30.



Ce patient porte un appareil en alliage Cr-Co au maxillaire supérieur depuis 1967; au maxillaire inférieur ont été exécutés à la même époque, un bridge de trois éléments en or (dents 35, 36 et 37) et deux obturations en amalgame sur les molaires 46 et 47.

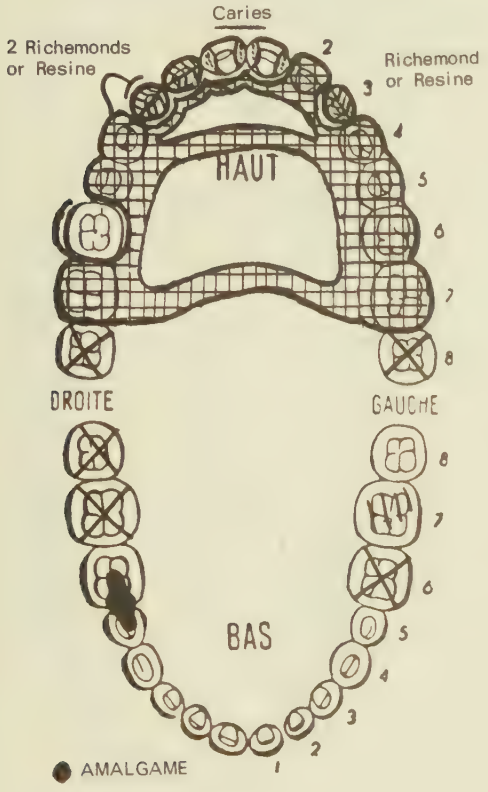
En 1971, la canine 23 présente une carie sur son collet distal, en rapport avec l'appareil prothétique; nous y avons prélevé l'échantillon n° 30; sur l'appareil nous notons une petite surface brillante, témoin d'une corrosion ou d'une érosion par frottement avec la dent au niveau même de la carie.

L'échantillon a donné à l'analyse les mesures suivantes.

Poids de l'échantillon	17,60 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	1,033 γ/mg
Cu	T
Ag	0
Co	0
Cr	0

OBSERVATION N° XXII.

ECHANTILLON N° 31.



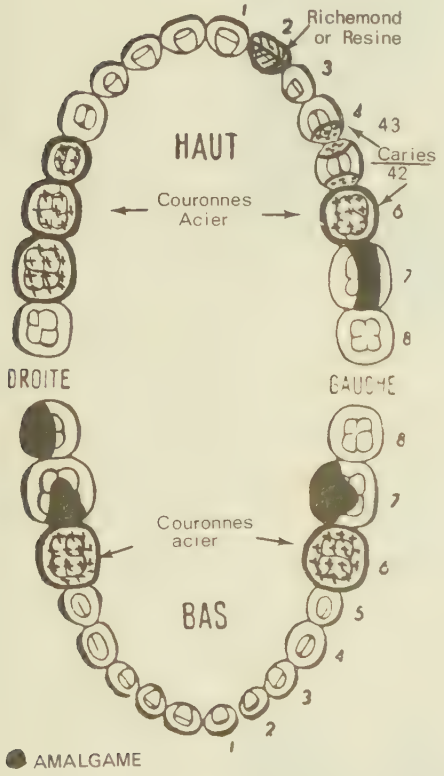
Ce patient porte actuellement un appareil de prothèse en alliage Cr-Co au maxillaire supérieur. Au préalable, il avait longtemps porté un premier appareil en alliage Rémanit. Il possède aussi un appareil en alliage Cr-Co pour le maxillaire inférieur qu'il ne porte plus depuis que la dent 37 est délabrée.

Au maxillaire supérieur, les dents 12, 13 et 23 sont des dents à pivot du type Richemond en alliage d'or et résine. Les dents 11 et 21 présentent des caries proximales en rapport avec l'appareil de prothèse. Sur la cavité distale de la dent 21, nous avons prélevé l'échantillon n° 31 qui a donné à l'analyse les mesures suivantes.

Poids de l'échantillon	42,21 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	T
Cu	0
Ag	0,007 γ/mg
Co	0
Cr	0

OBSERVATION N° VI.

ECHANTILLONS N° 42 et 43. Cliché n° 22 (page 175)



Dans la bouche de ce patient nous voyons de nombreuses reconstitutions métalliques en acier et en amalgame; nous y voyons également le talon en or d'une dent à pivot du type Richemond sur l'incisive 22.

La radiographie n° 22 montre 3 cavités de caries:

- 1 cavité sur la face distale de la dent 25 en rapport avec la couronne en acier de la dent 26; nous y avons prélevé l'échantillon n° 42.
- 1 cavité de carie sur la face mésiale de la même dent; nous n'avons pas réussi à y pratiquer un prélèvement.
- 1 cavité de carie sur la face distale de la dent 24; nous y avons prélevé l'échantillon n° 43 qui servira d'élément de comparaison.

Les échantillons ont donné à l'analyse les valeurs suivantes.

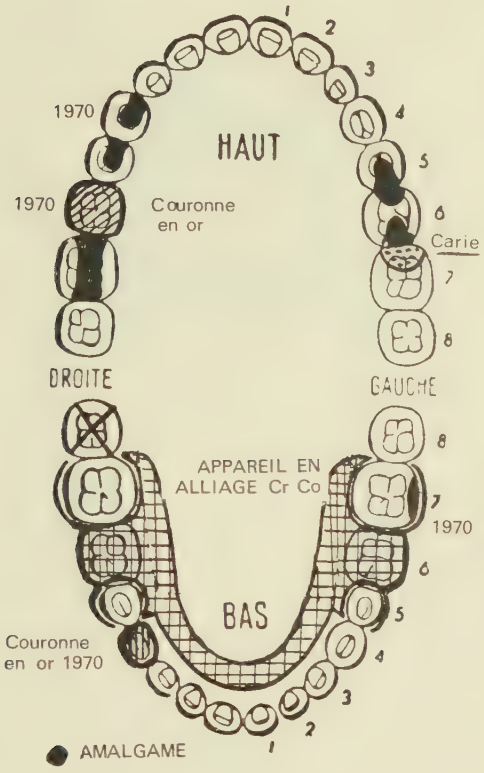
Echantillon n°	42	43
Poids de l'échantillon	23,58 mg	13,37 mg
Concentrations métalliques:		
Sn	0,424 γ/mg	2,719 γ/mg
Cu	0,063 γ/mg	0,112 γ/mg
Ag	0,008 γ/mg	0
Co	0	0
Cr	0	0
Ni	-	-

Cliché n° 22. Observation n° VI
Caries sur les faces distales
des dents 24 et 25.

Cliché n° 23. Observation n° VIII
Dent n° 36 : mauvaise finition
de l'obturation distale.

OBSERVATION N° XXXIV.

ECHANTILLON N° 28.



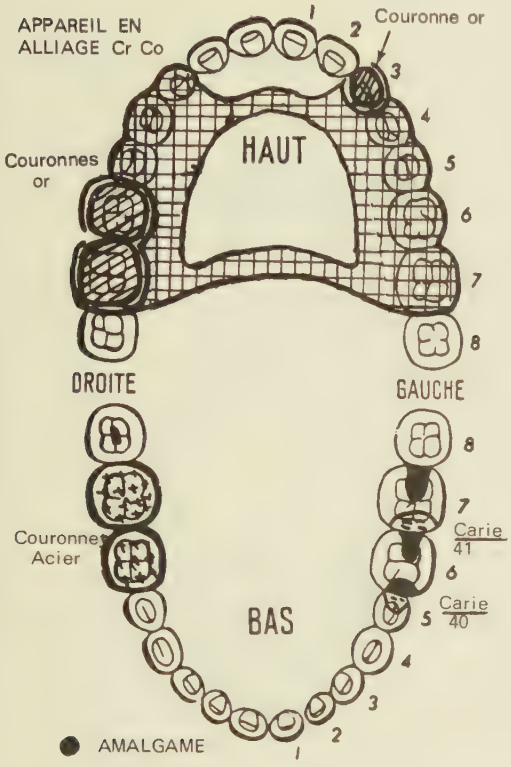
Nous avons commencé à traiter cette patiente en 1970. La molaire 16 et la prémolaire 44 délabrées , ont dû être dépulpées et couronnées; la dent de sagesse 48 a été extraite, la molaire 37 a été obturée avec de l'amalgame sur sa face vestibulaire. Nous avons également reconstitué les prémolaires 14 et 15. Toutes ces caries n'avaient pas de rapport avec des pièces métalliques.

En 1971, la denture comporte des obturations en amalgame, deux couronnes en or et un appareil en alliage Cr-Co au maxillaire inférieur. La molaire 27 et la prémolaire 25 présentent deux caries en rapport respectivement avec les obturations en amalgame de la molaire 26. Nous avons prélevé l'échantillon n° 28 sur la carie mésiale de la molaire 27. Sur cet échantillon, nous avons mesuré les valeurs suivantes.

Poids de l'échantillon	30,96 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	0,807 γ/mg
Cu	0,048 γ/mg
Ag	0,0068 γ/mg
Co	0 à T
Cr	0

OBSERVATION N° VIII.

ECHANTILLONS N° 40 et 41. Cliché n° 23 (page 175)



Cette patiente porte en bouche de nombreux alliages de types différents:

- l'appareil est en alliage Cr-Co,
- les couronnes au maxillaire inférieur (dents 46 et 47) sont en acier (probablement alliage Ni-Cr),
- les couronnes au maxillaire supérieur (dents 16, 17 et 23) sont en or,
- les obturations sont en amalgame.

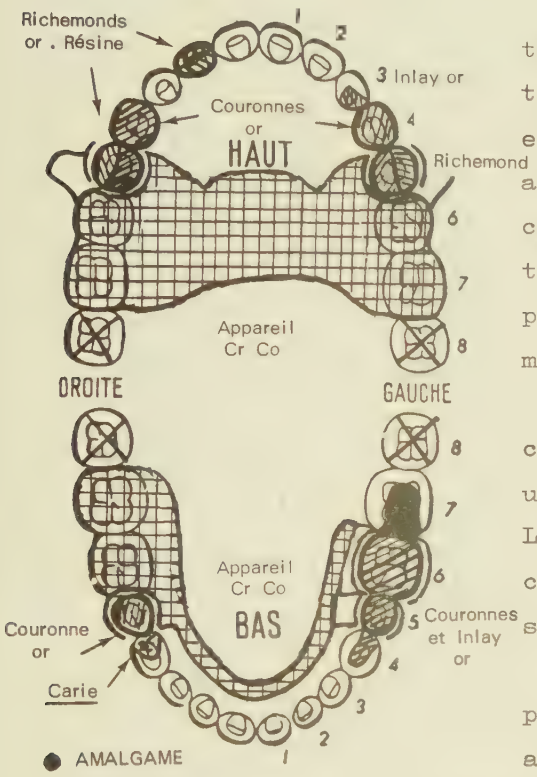
La dent 35 sur sa face distale et la dent 37 sur sa face mésiale, présentent des caries en rapport avec les obturations en amalgame portées par la dent 36; nous y avons prélevé respectivement les échantillons n° 40 et 41. Ces échantillons ont donné à l'analyse les valeurs portées sur le tableau ci-dessous.

Le cliché radiographique n° 23 montre la différence de qualité des obturations de la dent 36; nous y reviendrons lors de l'étude des résultats.

Echantillon n°	40	41
Poids de l'échantillon	36,32 mg	22,24 mg
Concentrations métalliques:		
Sn	0,825 γ/mg	0 à T
Cu	0,027 γ/mg	0,044 γ/mg
Ag	0,005 γ/mg	T
Cr	0	0
Co	0	0
Ni	-	-

OBSERVATION N° XXIX.

ECHANTILLON N° 29. Cliché n° 24 (page 180)



Ce patient porte en bouche quantité de réparations prothétiques, obturations en amalgame, couronnes et Richemond en or et résine, appareil de prothèse en alliage Cr-Co. Il présente régulièrement chaque année de nouvelles caries que nous traitons évidemment; nous avons entrepris d'éliminer, au fur et à mesure, au moins les amalgames.

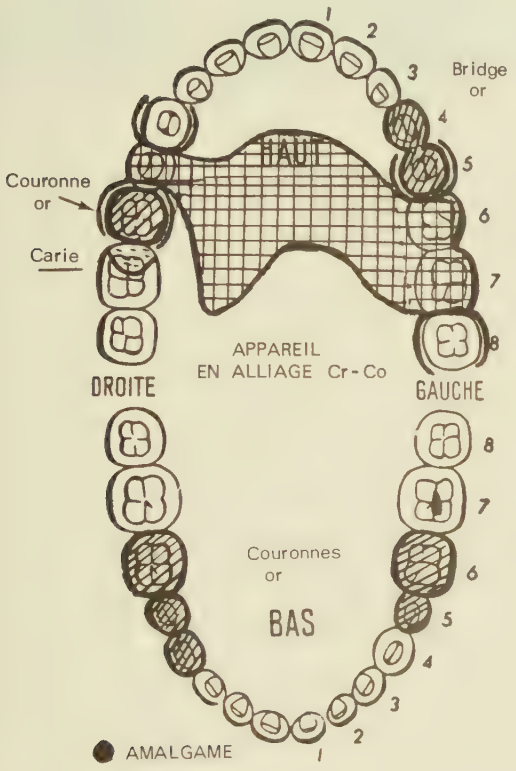
La dent 44 présente en 1971 une carie sur sa face distale en rapport avec une couronne Carmichaël de la dent 45. Le cliché radiographique n° 24 montre que cette dent porte elle-même une carie à son collet distal.

Sur la prémolaire 44, nous avons prélevé l'échantillon n° 29, et nous y avons mesuré les valeurs suivantes.

Poids de l'échantillon	3,66 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	2,483 γ/mg
Cu	0,273 γ/mg
Ag	0,056 γ/mg
Co	0
Cr	0

OBSERVATION N° XV.

ECHANTILLON N° 37. Clichés n° 25 et 26 (page 180)



Dans cette bouche nous voyons une seule obturation en amalgame de petite taille sur la dent 37; par contre, les couronnes en or sont nombreuses, et au maxillaire supérieur, existe un appareil en alliage Cr-Co.

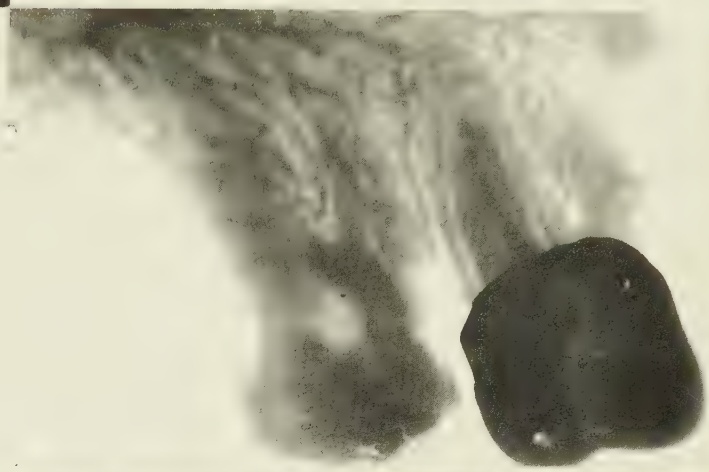
La dent 17 présente sur sa face mésiale une carie en rapport avec la couronne en or de la dent 16. Nous y avons prélevé l'échantillon n° 37. Cette cavité de carie se place exactement devant la pointe que dessine le bord distal de la couronne à son collet.

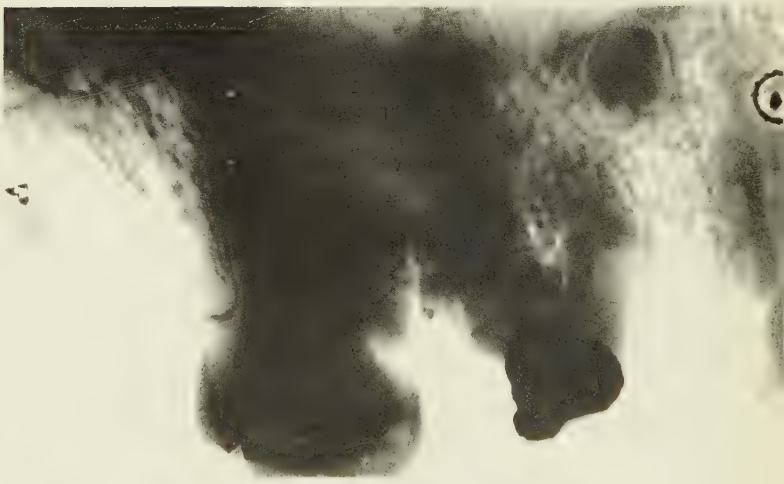
Sous cette couronne, nous avons trouvé une restauration importante en amalgame et une dent délabrée; nous avons dû l'extraire (clichés n° 25 et 26)

A l'analyse l'échantillon a donné les mesures suivantes.

Poids de l'échantillon	16,93 mg
Concentrations métalliques:	
Sn	T à 1,181 γ/mg
Cu	0,110 γ/mg
Ag	0,024 γ/mg
Co	0
Cr	0

Cliché n° 24. Observation n° XXIX
Carie distale sur la dent 44
Carie du collet sur la dent 45



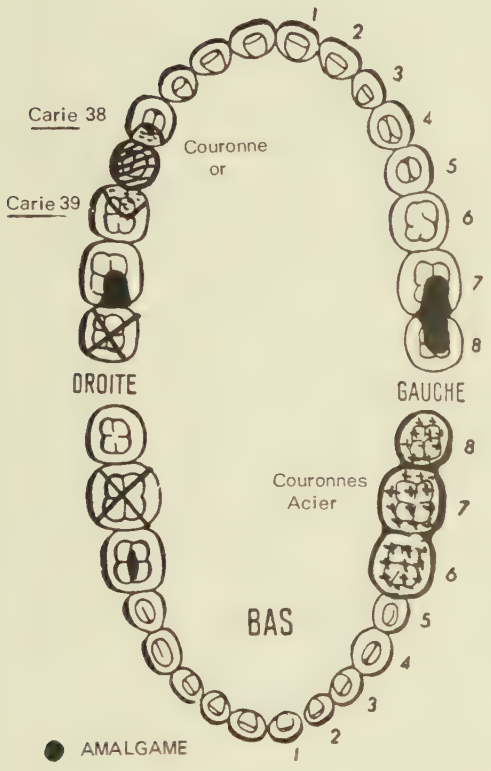


Clichés n° 25 et 26.
Observation n° XV.
Carie au collet mésial de la dent 17 en rapport avec une pointe de la couronne en or de la dent 16 qui porte sous cette couronne une obturation en amalgame et se présente délabrée.

Cliché n° 27. Observation n° XIII
Carie mésiale de la dent 16 et carie distale de la dent 14, en rapport toutes deux avec la couronne en or de la dent 15

OBSERVATION N° XIII.

ECHANTILLONS N° 38 et 39. Cliché n°27 (page 180)



Chez cette patiente nous voyons une bouche en bon état, qui porte cependant des reconstitutions métalliques construites en alliages de 3 types différents: amalgame, couronnes en acier et une couronne en or.

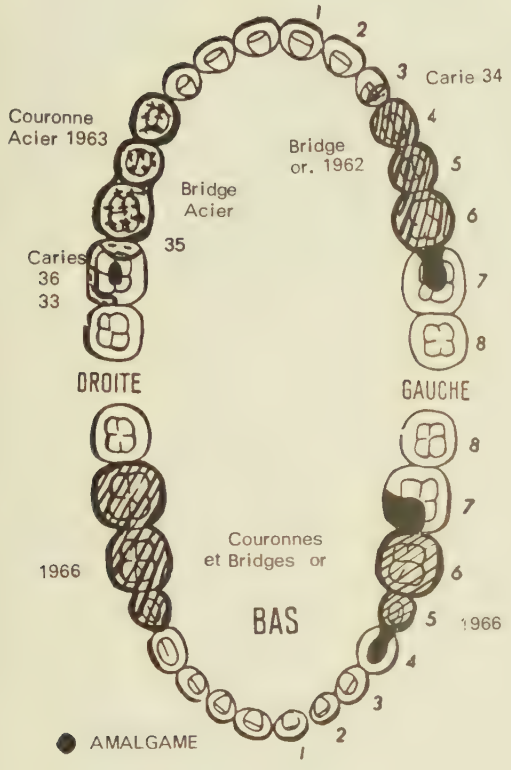
La couronne en or coiffe la prémolaire 15 et nous trouvons de part et d'autre de cette couronne 2 caries, l'une sur la face mésiale de la molaire 16 et l'autre sur la face distale de la prémolaire 14.(cliché n° 27). Nous y avons prélevé respectivement les échantillons n° 39 et 38.

L'analyse de ces échantillons a donné les mesures suivantes.

Echantillon n°	38	39
Poids de l'échantillon	15,20 mg	23,45 mg
Concentrations métalliques:		
Sn	T	T
Cu	0,109 γ/mg	0
Ag	0 à T	0,026 γ/mg
Co	0 à T	0 à T
Cr	0	0
Ni	-	-

OBSERVATION N°XVI.

ECHANTILLONS N° 33, 34, 35, 36. Clichés n° 28,29,30,31 (page 184)



Ce patient dont la denture est d'assez mauvaise qualité est suivi dans mon cabinet depuis une dizaine d'années; nous avons été amenés, au fur et à mesure à remplacer les prothèses anciennes en acier par d'autres en or. En 1971, il porte encore 3 couronnes en acier sur les dents 14, 15 et 16. La dent 17 présente une carie mésiale en rapport avec la couronne en acier de la dent 16. Nous y avons prélevé l'échantillon n° 35. Cette dent présente encore une carie disto-vestibulaire où nous avons prélevé l'échantillon n° 33, et le pan d'émail occlusal qui la recouvrait a constitué l'échantillon n° 36. Cette dent porte sur sa face occlusale une obturation en amalgame ancienne; les échantillons 33 et 36 ont, peut-être, quelques rapports avec elle. Les lésions sont bien visibles sur le cliché n° 39.

Du côté gauche, la canine 23 présente une carie importante en rapport avec le bridge à armature en or des dents 24, 25 et 26; nous y avons prélevé l'échantillon n° 34.

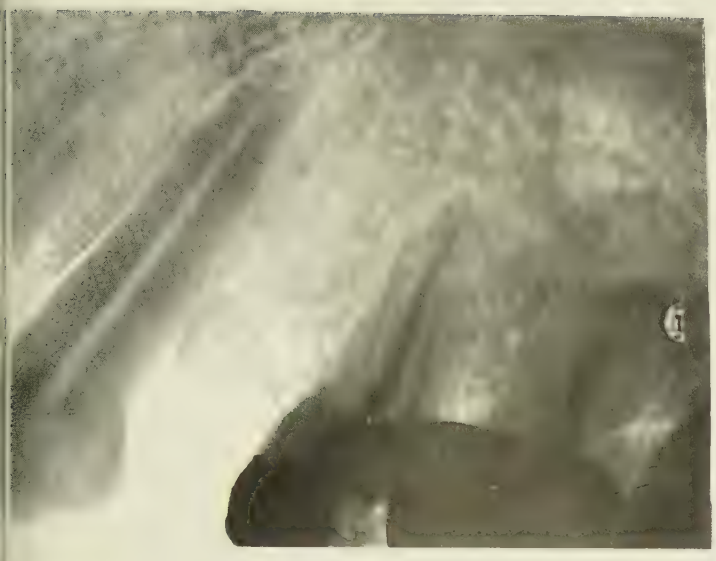
Les clichés n° 28, 29,et 30 effectués en 1961, 1962 et 1971 montrent l'évolution de cette carie.

En gros, nous trouvons dans cette bouche 4 obturations visibles en amalgame avec de grandes surfaces en or et 3 éléments de bridge en acier.

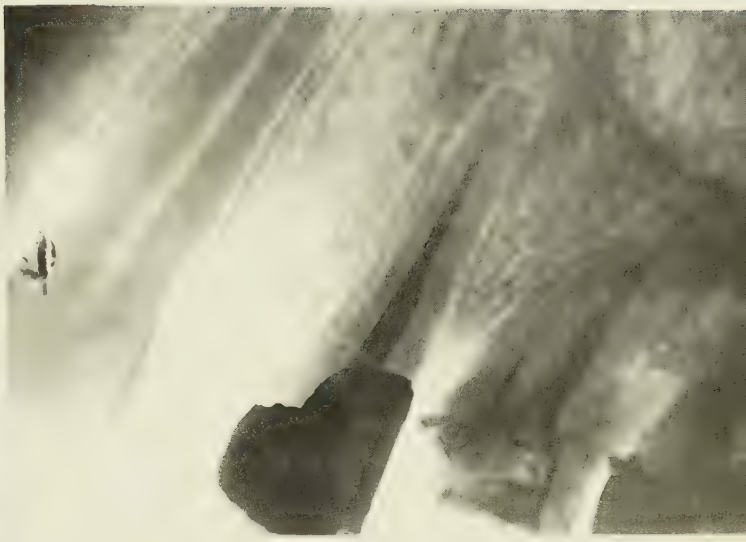
Nous verrons, lors de la discussion des résultats, l'intérêt particulier de cette observation.

L'analyse de ces échantillons a donné les mesures suivantes.

Echantillon n°	34	33	35	36
Poids de l'échantillon	20,86 mg	54, 92 mg	15, 60 mg	59,54 mg
Concentrations métalliques:				
Sn	0 à T	T	T à 1, 282 γ/mg	0,6107 γ/mg
Cu	0,49 γ/mg	0,030 γ/mg	0,053 γ/mg	0,033 γ/mg
Ag	0	0,045 γ/mg	0	0,008 γ/mg
Co	0 à T	0 à T	0	0 à T
Cr	0	0	0	0,254 γ/mg
Ni	0 à T	-	-	-

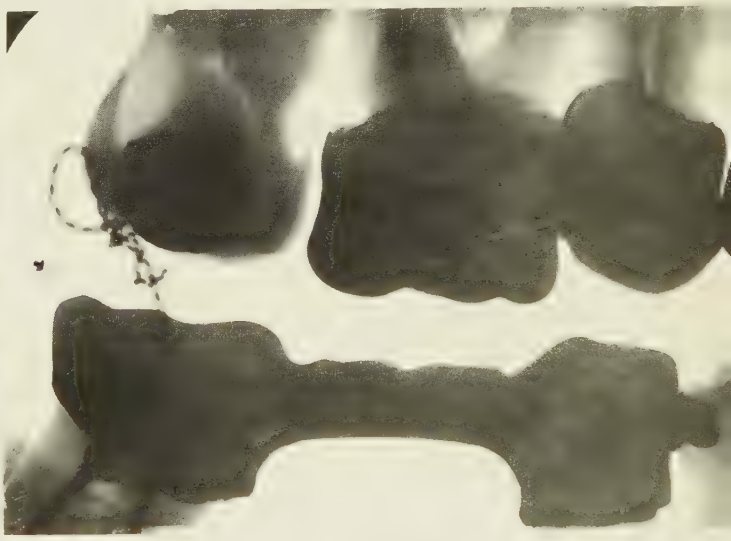


Cliché n° 28. Observation n° XVI 1961 : la dent 23 est intacte.



Cliché n° 29. Observation n° XVI 1962 : la dent 23 est intacte

Cliché n° 30. Observation n° XVI 1971 : carie distale importante sur la dent 23, en rapport avec un bridge en or.



Cliché n° 31. Observation n° XVI 1971 : B.W. côté droit : sur la dent 17, carie au collet mésial en rapport avec la couronne en acier de la dent 16; carie disto-vestibulaire; amalgame sur la face occlusale.

LE TABLEAU C. (page 189).

Les phénomènes se compliquent sur le tableau C où les échantillons proviennent de patients qui portent en bouche trois types d'alliages différents. Ce tableau regroupe 15 échantillons répartis en 3 sous-groupes de 5 chacun, prélevés respectivement près de pièces en acier, en amalgame ou en or.

Nous étudierons le tableau dans son ensemble et dans l'ordre sauf pour l'observation nº XVI que nous réservons pour la fin; elle constituera une sorte de récapitulation puisqu'elle offre un échantillon au moins dans chaque catégorie.

ECHANTILLON Nº 30/XXVIII, colonne nº 1 (observation page 172). Cet échantillon ne contient que du Sn, et du Cu à l'état de trace. L'aire de l'appareil est tellement plus grande que la surface d'or et la surface d'amalgame si petite que la corrosion paraît importante sur cette dernière comme en témoigne le taux important de Sn. Il semblerait en tous cas que l'alliage Cr-Co se comporterait ici comme l'alliage le plus noble puisqu'il attire le métal le plus vil, le Sn.

ECHANTILLON Nº 31/XXII, colonne nº 2 (observation page 173). Ici, c'est une très faible dose d'Ag que nous trouvons, et ni Cu, ni Sn. L'observation offre une certaine similitude avec la précédente du point de vue des rapports entre elles des surfaces d'alliages exposées à la salive. Cependant, l'or et l'alliage Cr-Co entrent ici en contact tandis que dans le cas précédent ces deux alliages ne l'étaient jamais; ajoutons que la surface d'or est très réduite. Le contact de l'alliage Cr-Co avec l'or avilirait-il ce dernier?

OBSERVATION Nº VI, colonnes nº 4 et 5 (page 174). Dans cette bouche, l'or n'apparaît qu'en très petite quantité; les surfaces d'acier et d'amalgame sont très étendues. La corrosion est très forte

comme l'indiquent les concentrations élevées de métaux dans les échantillons. La sélection des métaux est très nette puisque l'échantillon témoin nº 43 présente des quantités fortes de métaux vils Sn et Cu, mais pas d'Ag, tandis que l'échantillon nº 42 prélevé près d'une couronne en acier montre un taux d'Ag certes assez faible, mais le taux de Cu y est réduit de moitié tandis que le Sn est passé à l'état de trace. Il semblerait que la couronne en acier se soit comportée en métal plus vil.

ECHANTILLON Nº 28/XXXIV, colonne nº 6 (observation page 176). Sur cet échantillon nous retrouvons les caractéristiques des échantillons prélevés près d'obturations en amalgame. Le rapport $\frac{Cu}{Ag}$ est inférieur à 1 et égal à 2/3 avec donc une polarité assez marquée et une corrosion importante, à en juger par le taux élevé des métaux. Ceci n'est pas étonnant, vu le rapport des surfaces métaux nobles et amalgames, exposées à la salive. L'amalgame se comporte en métal vil et entraîne autour de lui une forte concentration d'Ag.

OBSERVATION Nº VIII, (page 177). Elle comporte 2 échantillons prélevés tous deux près d'amalgames portés par la même dent 36. La corrosion est élevée et l'observation offre l'intérêt de montrer la différence de comportement et de polarité entre 2 amalgames plus ou moins mal finis comme le montre le cliché radiographique nº 23 page 175. Notons par ailleurs que la carie de la dent 35 est située au collet sans que l'on puisse dire si elle est vraiment en rapport avec l'amalgame mésial de la dent 36, tandis qu'il ne fait pas de doute que la carie de la dent 37 est bien en regard de l'amalgame distal. L'échantillon nº 40 présente une masse d'ions de toutes polarités, tandis que le nº 41 donne la preuve d'une sélection nette puisque nous n'y trouvons plus que du Cu, l'Ag et le Sn ayant disparu.

ECHANTILLONS Nº 29/XXIX et 37/XV, colonnes nº 12 et 13, (observations pages 178 et 179). Ces deux échantillons offrent une certaine similitude. Ils sont tous les deux prélevés près de pièces en alliage d'or; les rapports $\frac{Cu}{Ag}$ sont supérieurs à 1 et le Sn est réduit à l'état de trace. L'intérêt du rapprochement de ces deux cas réside dans la différence du taux de corrosion qui semble être conditionné par la surface d'amalgame exposée. En effet, l'observation nº XXIX présente un taux de corrosion 2 fois plus élevé mais aussi une surface d'amalgame plus grande, tandis que dans l'observation nº XV, l'amalgame exposé consiste en une très petite obturation sur la dent 37. Evidemment, plus il y a d'amalgame, plus il y a de micropiles et de corrosion au sein de celui-ci.

OBSERVATION Nº XIII, colonnes nº 14 et 15 (page 181). Les échantillons sont prélevés de part et d'autre d'une même couronne en or existant sur la dent 15. Le taux de corrosion parait assez faible, ce qui serait normal au regard des aires relatives or-amalgame, si l'on fait abstraction des couronnes en acier situées au maxillaire inférieur du côté opposé. On est cependant frappé par le fait que l'échantillon nº 38 présente un taux de Cu élevé et pas d'Ag, tandis que l'échantillon nº 39 présente au contraire un taux d'Ag élevé et pas de Cu; le Sn dans les deux cas n'est présent qu'à l'état de trace. Nous n'avons trouvé d'autre raison à cette sélection que l'aération différentielle entre les faces mésiale et distale de la couronne en or de la dent 15.

OBSERVATION Nº XVI, colonnes nº 3, 9, 10 et 11 (page 182). Nous avons réservé ce patient pour la fin, car il nous a fourni 4 échantillons prélevés dans des conditions toutes différentes: l'échantillon nº 35 prélevé près d'une couronne en acier, les échantillons nº 33 et 36 sans rapport métallique sauf peut-être une relation avec l'obturation ancienne en amalgame portée par la dent elle-même, l'échantillon nº 34 prélevé près d'une couronne en or.
Le rapport $\frac{Cu}{Ag}$ varie d'un échantillon à l'autre, supérieur à 1 dans

le nº 35, près de la couronne en acier d'un comportement noble, avec pas d'Ag, un taux de Cu élevé et une certaine quantité de Sn; il est inférieur à 1 dans l'échantillon nº 33 que nous considérons comme prélevé près d'un amalgame, avec trace de Sn, tandis qu'il est de nouveau supérieur à 1 dans l'échantillon nº 34, prélevé près de la couronne en or, avec seulement du Cu et pas d'Ag ni de Sn. L'échantillon nº 36 présente une masse des trois métaux avec une sélection moins marquée mais qui autorise cependant à penser que la corrosion est assez élevée.

TABLEAU : C 3 ALLIAGES PRESENTS

	ACIER + OR + AMALGAME														
	PRELEVEMENT PRÈS ACIER					PRELEVEMENT PRES AMALGAME					PRELEVEMENT PRES OR				
Observ. n°	28	22	16	6		34	8		16		16	29	15	13	
Prélèv. n°	30	31	35	42	43	28	40	41	33	36	34	29	37	38	39
Sn	1,033	T	T à 1,282	T à 0,424	2,719	0,807	0,825	0 à T	T	0,6107	T	T	T à 1,180	0 à T	0 à T
Cu	T	0	0,053	0,063	0,112	0,048	0,027	0,044	0,030	0,033	0,049	0,273	0,110	0,109	0
Ag	0	0,007	0	0,008	0	0,068	0,005	0	0,045	0,008	0	0,056	0,024	0 à T	0,026
Co	0	0	0	0	0	T	0	0	0	T	T	0	0	0 à T	0 à T
Cr	0	0	T	0	0	0	0	0	0	0,254	0	0	0	0	0
Rapport $\frac{Cu}{Ag}$	Cu > Ag	Cu < Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu < Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu < Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu > Ag	Cu < Ag
Colonne n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Les valeurs sont données en γ/mg

Conclusion

Si nous comparons les formules des différents alliages dentaires dans lesquels nous pouvons trouver du Cu, de l'Ag et du Sn, c'est à dire l'amalgame et les alliages d'or, nous noterons que:

- les quantités de Sn sont inférieures aux quantités d'Ag dans l' amalgame,
- les quantités de Cu sont inférieures aux quantités d'Ag dans tous les cas,
- les quantités de Sn sont inférieures aux quantités de Cu et d'Ag dans les soudures d'or.

D'autre part, si nous comparons sur le tableau D, les chiffres trouvés par les auteurs dans leurs dosages pour les métaux qui nous intéressent, nous constatons que les moyennes avancées diffèrent sérieusement d'un auteur à l'autre. Ceci est dû à la différence de sensibilité et de précision des méthodes d'analyses employées dans l'un ou l'autre cas.

Cependant lorsque 2 ou plusieurs métaux ont été analysés par le même auteur et suivant la même méthode, bien que la sensibilité des appareils soit différente pour les différents métaux, nous pouvons comparer entre eux les résultats obtenus pour ces métaux. C'est le cas de Brudevold et Steadman qui donnent une quantité de Cu supérieure à celle de Sn, et le cas de Hardwick et Martin qui donnent des quantités égales pour le Cu, l'Ag et le Sn.

Sur les tableaux A, B et C, nous avons analysé 46 échantillons et nous avons trouvé:

- dans 13 cas: concentration de Ag supérieure à concentration de Cu,
- dans 33 cas: concentration de Cu supérieure ou égale à concentration de Ag,
- dans 15 cas: 0 ou trace pour le Sn,
- dans 31 cas: une valeur franche pour le Sn.

Chaque fois que nous avons obtenu une valeur franche pour le Sn, la concentration était largement supérieure, à l'exception près, à la valeur la plus élevée, quelle que soit la valeur trouvée pour le Cu ou l'Ag.

Ces proportions ne correspondent pas à celles que nous trouvons dans les compositions types des amalgames d'Ag ou des alliages d'or employés en dentisterie.

D'autre part, nos tableaux ont révélé des quantités de métaux très différentes et supérieures à celles données par les auteurs comme normales; nous avons trouvé 0 dans quelques cas. Des quantités de métaux ont donc été ajoutées ou retranchées aux tissus que nous avons analysés. Il intervient par conséquent une notion de sélectivité pour les différents métaux avec fixation dans certains cas, et perte dans d'autres.

Les sélections de métaux que nous avons observées semblent correspondre d'assez près aux lois de l'électrolyse dans l'ensemble de nos observations. Ces lois n'ont évidemment pas agi de façon isolée; nous avons essayé de caractériser quelle loi avait prévalu dans tel ou tel cas.

Nous pouvons affirmer que le rapport métal vil à métal noble a mis en valeur la polarité de l'obturation faisant office d'électrode, que ce rapport soit supérieur à 1 indiquant une polarité noble dans la plupart des cas où les prélèvements étaient effectués près de pièces en or ou en acier ou qu'il soit inférieur à 1, lorsqu'ils étaient effectués près d'amalgames. Dans quelques cas le comportement des aciers inoxydables a paru contraire et nous avons essayé d'en déterminer la raison.

Les lois physiques qui ont semblé prévaloir pour déterminer la corrosion sont en général, la loi d'aération différentielle, la loi des aires relatives et celles liées aux conditions topographiques des caries dans la bouche.

D'une façon générale la grande majorité des prélèvements, effectués au hasard de la consultation, s'est trouvée être près de pièces de polarité noble. Les caries se développeraient moins souvent près des obturations en amalgame si celles-ci pouvaient être bien finies et bien polies sur leurs faces proximales. Toutes fois la tendance des amalgames à la corrosion de par leur structure d'une part, et de par leur polarité vile, dès qu'un autre métal noble est présent, d'autre part, leur confère une grande part de responsabilité dans les phénomènes décrits, puisqu'ils demeurent dans tous les cas, les grands fournisseurs d'ions migrateurs.

Ce travail semble confirmer l'inertie et la bonne tenue en bouche des alliages Cr-Co et des aciers inoxydables puisque les ions Cr, Co et Ni n'ont pratiquement pas été rencontrés dans les échantillons.

Il est d'autres phénomènes qui ont pu intervenir et influer sur la présence des produits de corrosion à l'intérieur des tissus dentaires durs; ce sont ceux relatifs à la dent elle-même et nous les étudierons dans la troisième et dernière partie de ce travail.

PATHOLOGIE ELECTROGALVANIQUE AU NIVEAU DE LA DENT : LA CARIE

Après l'étude de la corrosion, du galvanisme et de la migration des ions métalliques au sein de la bouche, après avoir caractérisé la présence de ces ions dans les tissus pathologiques des cavités de carie, il nous reste à essayer d'expliquer la pathologie résultant de ces phénomènes au niveau de la dent,et sur quel principe nous pouvons baser notre hypothèse que ces métaux ont été à l'origine de caries dentaires.

Au cours de notre expérimentation, nous avons effectué quelques prélèvements en dehors de tout contact métallique pour les utiliser comme terme de comparaison. Les échantillons nº 13/XXVII, 18/XXXI, 20/XXV, 43/VI qui répondaient à cette condition ont montré qu'ils contenaient aussi les mêmes ions que les autres cavités à des concentrations plus ou moins importantes et sans sélection; la question se pose alors de savoir si ces métaux ont pénétré dans les tis-

sus dentaires sains pour y déterminer d'une façon ou d'une autre l'apparition de caries ou bien s'ils s'y seraient déposés une fois les cavités formées. Un dépôt est certainement possible après la cavitation carieuse par décantation et précipitation à partir de la salive stagnant dans les cavités, mais cette conception n'enlève rien à notre hypothèse que, au niveau des pièces métalliques, les ions attirés, atteignant une concentration importante, traverseraient l'émail dentaire par phénomène d'électro-endosmose. Nous ajouterons même que les ions qui seraient déposés après la cavitation agiraient aussi pour faciliter la progression de la carie dans l'ivoire.

Il nous faut,pour étayer notre hypothèse, revoir quelques propriétés intervenant dans la physiologie de l'organe dentaire:

- les propriétés électriques des tissus dentaires,
- la perméabilité de l'émail et sa solubilité,
- la physiologie de l'organe dentaire.

Propriétés de l'organe dentaire

CONDUCTIBILITE ELECTRIQUE DE LA DENT.

Nous avons déjà parlé de la conductibilité de la dent dans la première partie de ce travail à propos de circuit électrique, que ce soit le circuit extérieur à la pile ou le milieu électrolytique nécessaire à sa constitution. Dans tous les cas, la dent ne conduit le courant électrique que par sa partie collagénique, ses canalicules et ses canaux; nous citerons à ce propos Dubois-Prévost (34), P.D. Bernard (8), Applebaum, Suzuki, Nomura (cités par Takeuchi, 121). La partie minérale elle-même de la dent offre une forte résistance au passage du courant électrique.
Mayusumi (Takeuchi,121) a constaté que cette résistance, sur une dent saine, va en augmentant avec l'âge; il a été constaté aussi qu'elle est inférieure sur les dents cariées. Cette conductibilité de la dent nous intéresse ici au regard de l'influence du courant électrique qui, par cataphorèse, permet aux sels de passer au travers de l'émail.

PERMEABILITE DE L'EMAIL.

La perméabilité de l'émail a été étudiée sous différents aspects.

POOLE,TAILBY et BERRY (93) ont, par un procédé expérimental, montré la perméabilité de l'émail sous différentes formes:

- l'eau s'évapore à partir de l'émail d'une dent et l'évaporation est plus importante si une surface de dentine est dénudée.

- les alcools méthylique, éthylique, propylique traversent l'émail.
- le mouvement de l'eau à travers l'émail se fait aussi sous l'effet d'une pression osmotique.
- l'émail n'est pas une membrane semi-perméable parfaite parce qu'il laisse aussi passer un peu de liquide hypertonique dans le sens inverse.
- le passage de certains ions est cependant gêné.
- un potentiel de membrane peut exister de part et d'autre de l'émail et celui-ci se comporte comme s'il possédait une charge négative.

TARBET (122) a étudié la perméabilité de l'émail à un fluorure et à l'acriflavine in vitro et in vivo. Il conclut que ces ions traversent l'émail in vivo 10 à 12 fois plus rapidement que in vitro et que la maturation de l'émail provoquée in vivo par une exposition de 30 minutes à une solution de fluor correspond à celle acquise en 10 ans d'exposition à l'environnement oral.

MANDEL (77),par des études à l'aide d'isotopes radioactifs,a démontré que la pénétration de l'émail se produit probablement le long de ses constituants organiques même en l'absence de carie.

BOSSON (12), VAN HUYSEN (Thèse Goguel 44) rapportent que l'émail jeune est plus perméable.

SPEIRS (116) a étudié l'absorption du phosphate de calcium par l'émail dentaire; il pense que ces ions sont adsorbés à la surface de l'émail sous une forme non liée, que ces phosphates se dissolvent dans un acide à pH = 5 indépendamment du phosphate présent dans l'hydroxyapatite.Il rapporte également les travaux de ERICSON (1953) qui a montré que le Ca 45 peut pénétrer dans l'émail de surface (in vitro) jusqu'à une profondeur de l'ordre de 0,17m/m, zone qui correspond à

l'épaisseur de la couche radio-opaque de surface.

Enfin GOGUEL (44) rapporte les travaux de:

- KLEIN et AMBERSON (60) qui ont montré un lent passage osmotique, à travers l'émail et que celui-ci laisse passer les cations tandis qu'il arrête les anions à cause de la charge négative de sa substance.
- DEGELMAN qui a montré, en mesurant la conductivité des solutions de part et d'autre de la membrane émail, que celui-ci était perméable à l'eau et à différents chlorures.
- ATKINSON (2,3) qui a montré que l'émail se comporte comme une membrane perméable aux ions inorganiques de petite dimension et semi perméable pour les solutions à grosses molécules.
- APPLEBAUM, JEFFRY (57), JAGER, qui mirent en évidence l'influence du courant électrique et le passage de sels à travers l'émail par cataphorèse; cette perméabilité siège dans la gaine des prismes.
- BOUYSSON et CRESSON, qui ont étudié le passage des solutions colorées à travers l'émail de différents âges.
- LUKOWSKI, qui a montré la pénétration du nitrate d'Ag ammoniacal à travers l'émail et la dentine.

Nous rappellerons enfin les travaux de WATERS (137) et de KLEIN et AMBERSON (60) qui ont étudié la perméabilité de l'émail vis-à-vis des cations monovalents et bivalents. Ces auteurs ont montré comment in vitro l'adsorption par l'émail de cations bivalents pouvait aller jusqu'à inverser la polarité à sa surface. Ce phénomène étudié avec du chlorure de potassium KCl et du chlorure de calcium $CaCl_2$ était reversible.

PERMEABILITE DE L'IVOIRE.

La perméabilité de l'ivoire ne fait pas de doute malgré la contestation de quelques auteurs. En effet, HESS et PERRIAT (51) rapportent les résultats obtenus par TAGADA, STUBEN et GODT, qui ont,

grâce à l'utilisation du P marqué, montré sur les dents de chien la migration du P à travers la dentine depuis une obturation en silico-phosphate de Zn jusqu'à la pulpe tandis que PECCHIONI, utilisant aussi l'acide phosphorique marqué, a conclu qu'il n'y avait aucune migration de P sur les dents humaines.

SCHOONOVER et SOUDER (107) ont étudié par spectrochimie des coupes de dents ayant porté des obturations en amalgame et ont caractérisé dans ces dents, le long des parois des cavités, des particules métalliques de Sn, Cu, Zn et Ag. Ces dépôts métalliques se retrouvent jusqu'à la pulpe sans que l'on puisse dire si la concentration est plus ou moins élevée au voisinage de la chambre pulpaire.

SOLUBILITE DE L'EMAIL DENTAIRE.

Nous avons déjà parlé de la solubilité de l'émail dentaire avec les propriétés de la salive, ses tampons, sa concentration en phosphate de calcium qui maintiennent autour de la dent une atmosphère tendant à s'opposer à la dissolution de l'émail.

Nous rappellerons avec GOGUEL (44) que la solubilité de l'émail est faible au dessus de pH = 6 et qu'elle est nulle lorsque le pH est supérieur à 5 en présence d'une solution saturée en ions phosphates tricalciques.

SPEIRS (116) pense, d'après les travaux de ROWLES et LITTLE (1955), que la surface de l'émail présente une plus grande résistance à la dissolution par les acides.

Nous rappellerons enfin les travaux de MIZUMA (80) qui a étudié la solubilité de l'émail dans différentes solutions à des pH échelonnés et dans divers jus de fruits à pH différents. La solubilité de l'émail vis-à-vis de différents ions métalliques sera vue plus loin avec l'étude des propriétés cariogènes ou cariopréventives de ces ions.

PHYSIOLOGIE DE L'ORGANE DENTAIRE.

De la théorie décrite par LEIMGRUBER dans l'E.M.C. (69) sur la physiologie de l'organe dentaire, nous retiendrons que les concentrations ioniques de la salive et du plasma sanguin sont différentes et que, si la salive contient plus de K^+ et de PO_4^{---}, elle contient beaucoup moins de Na^+, de Ca^{++}, de Mg^{++}, de Cl^-, et que, dans l'ensemble, le plasma sanguin se trouve être fortement hypertonique par rapport à la salive, ce qui détermine un courant aqueux constant centripète à travers les tissus durs de la dent (Atkinson,2).

Les tissus durs de la dent sont constitués par des cristaux d'apatite et une substance interprismatique constituée elle-même de substances amphotères dont le point isoélectrique se situe à un pH égal à 5, comme la plupart des protéines de l'organisme. La charge de l'émail et de l'ivoire est donc négative.

Les cations salivaires ont tendance à être adsorbés à la surface de l'émail et à migrer vers la substance interprismatique pour tempérer cette charge négative jusqu'à l'obtention d'un équilibre avec l'attraction négative des anions salivaires, ce que l'auteur a exprimé par l'égalité:

$$E^- = A^-.$$

Dans les cas où l'équilibre n'existe pas, donc que $E^- > A^-$, l'attraction de la substance interprismatique s'exercerait de préférence sur les cations plurivalents que sur les monovalents.

Tenant compte de l'influence du gradient osmotique sang-salive, l'équilibre s'établirait suivant l'égalité:

$$E^-_{pH = 6,5} = A^-_{c = 200\ mg/100ml}$$

Pathologie électrogalvanique

RAPPEL DE PATHOLOGIE GENERALE

La pathologie consécutive à l'électrogalvanisme buccal a été assez largement étudiée; de nombreux accidents généraux et locaux ont été décrits par les auteurs et nous trouvons dans la littérature une symptomatologie abondante allant pour la cavité buccale de la simple inflammation de la gencive jusqu'au cancer de la langue, à côté d'autres atteintes intéressant la dermatologie, l'ophtalmologie, l'oto-rhino-laryngologie, l'hématologie, la gastro-entérologie, la neurologie. La liste de ces auteurs est longue, nous citerons seulement DENIER DE LA TOUR DU PIN (26, 29, 31, 30, 28), LAIN (63, 67), TOURAINE (124), ROCHETTE (103), ETIENNE (37), MADURO et TISSIE (76), SOLOMON et REINHARD (112).

D'une façon générale, les auteurs ont conclu à une étiologie électrogalvanique lorsque la symptomatologie disparaissait avec le retrait des pièces métalliques.

Du point de vue pathogénique, plusieurs hypothèses ont été émises:

- Irritation chronique par le courant (Lain, 65).
- Intoxication par les métaux libérés par électrolyse (Mac Grégor et Fikling, 75 - Rheinwald, 99, 98).
- Imprégnation des tissus par les ions libérés à la suite de la corrosion des métaux (Lain et Caughron, 67 - Lain, 64 - Shigeo Takahashi, 109).
- Allergie aux métaux libérés (Michalowsky, 79- Schoonover et Souder, 107).
- Changement dans l'équilibre normal des tissus sous l'effet des changements de champs électriques (Rheinwald, 101).

- Action sur le sympathique et le parasympathique provoquant des réflexes à travers le Trijumeau (Rheinwald, 101 - Maduro et Tissié 76 - Lain, 66 - Lain, Schriever et Caughron, 68 - Denier de la Tour du Pin, 28).

PATHOLOGIE DENTAIRE : LA CARIE

Au niveau de la dent, nous parlerons d'abord de la douleur provoquée par la décharge électrique à travers la pulpe au moment de l'établissement d'un court-circuit par le contact entre deux obturations. Cet incident est d'observation courante dans la pratique odontologique. Nous avons relaté l'observation du Docteur Krik et nous citerons les travaux de MUMFORD (83, 84) qui s'est particulièrement intéressé à cette douleur.

DECALCIFICATION.

DENIER DE LA TOUR DU PIN (25, 23), CHASE cité par INOVAY et BANOCZY (55,54), PALMER (87) ont parlé de la possibilité de décalcification dentaire par électrogalvanisme. Il y a lieu de rappeler les études de VENABLE et STUCK (130, 131) pour analogie, et celles de WAKAI (136) sur lesquelles nous nous arrêterons plus longuement comme intervenant en partie dans l'explication du problème qui nous occupe.

VENABLE et STUCK ont démontré que l'électrogalvanisme engendré par les pièces métalliques d'ostéosynthèse provoquait un phénomène d'ostéolyse au niveau des pièces et la mobilisation du calcium.

WAKAI a conduit une série d'expériences grâce auxquelles il ne laisse pas de doute sur la même action au niveau des dents.

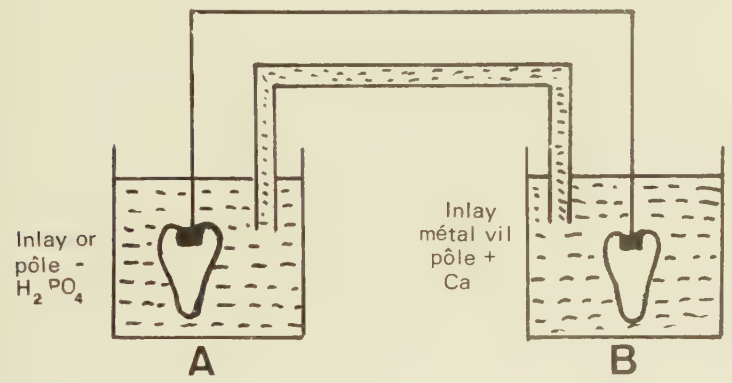
Utilisant une dent fraichement extraite, cet auteur y a creusé une cavité qu'il a obturée par un inlay en or se prolongeant par un fil du même métal. Toute la partie métallique de ce montage est enrobée dans de la paraffine, puis la dent est plongée dans un vase contenant une solution de NaCl physiologique à 0,9%. Le fil métallique ainsi construit est relié à l'anode d'une source de courant continu; la cathode est reliée à une électrode au calomel plongée dans un autre vase dont la solution est mise en connection avec celle du premier. Au bout de 10 heures, il trouve dans la solution de NaCl des ions Ca en forte quantité.

Dans une seconde expérience, le même montage est réalisé et la dent est reliée à la cathode tandis que l'anode est reliée à l'électrode au calomel; il trouve alors de l'acide phosphorique dans la solution.
Etant donné les éléments en présence, les ions Ca et l'acide phosphorique ne peuvent provenir que des tissus dentaires.

Allant plus avant, l'auteur supprime l'électrode au calomel et fait son montage avec deux dents préparées de la même façon et plongées dans deux béchers différents; il trouve alors du Ca dans la solution baignant la dent reliée à l'anode et de l'acide phosphorique dans celle baignant la dent reliée à la cathode. La quantité d'ions libérés est proportionnelle au temps du passage du courant et à l'importance de la D.D.P. C'est ainsi que pour une D.D.P. de 1 Volt le temps de l'expérience va jusqu'à 12 jours.
Les mêmes expériences faites avec de la salive donnent les mêmes résultats.

Si maintenant on supprime la batterie et que l'on conduise l'expérience sur des dents obturées avec des métaux différents, on recueille alors du Ca autour du métal vil et de l'acide phosphorique près du métal le plus noble.

Cette série d'expériences montre qu'il se produit une électrolyse de la dent sous l'effet des courants galvaniques créés dans la bouche. Elles ne peuvent cependant donner une image exacte de ce qui se passe réellement in vivo. En effet, dans la dernière expérience que nous rapportons et pour laquelle il nous paraît utile de nous référer au schéma ci-dessous, les deux béchers sont reliés par un pont de gélatine qui permet la fermeture du circuit. Nous trouvons de l'acide phosphorique dans le bécher A qui contient la dent porteuse de l'inlay en or, pôle négatif de la pile de corrosion et du calcium dans le bécher B qui contient la dent porteuse de l'inlay en métal vil, pôle positif. Or l'ion Ca migre vers le pôle négatif, c'est à dire vers l'or et l'ion acide vers le pôle positif, c'est à dire le métal vil. Il semblerait que le passage de ces ions soit gêné par le pont de gélatine, et c'est ainsi que nous pourrions expliquer la présence du Ca dans le bécher B et celle de l'acide phosphorique dans le bécher A.



En bouche, les choses ne peuvent se passer ainsi car il n'y a pas deux béchers mais un seul milieu liquide qui est le milieu buccal. Il se produit certainement une dispersion des produits résultant de l'électrolyse et une recombinaison de ceux-ci entre eux ou avec d'autres ions présents dans ce milieu. D'autre part, l'orientation et la migration des ions peut se faire normalement vers les pôles respectifs d'attraction, l'anode pour les anions et la cathode pour les cations. Nous n'avons pas fait de recherche expérimentale pour préciser ce point, mais il est certain que des réactions secon-

daires se produisent au niveau de chacune des électrodes et que le pH y est modifié avec probablement une acidification plus marquée au niveau de l'anode, pôle constitué par le métal le plus vil, favorisant ainsi la nocivité de la plaque dentaire cariogène qui se constitue sur la face de l'émail se trouvant en contact.

Nous rappellerons ici l'affirmation de DENIER DE LA TOUR DU PIN que l'électrogalvanisme provoque une acidification de la salive, ainsi que le point de vue exprimé par LEIMGRUBER que tout crochet d'appareil doit être considéré comme une plaque cariogène.

Considérons à présent le cas du prélèvement nº 49, l'un des échantillons que nous avons recueillis avec l'observation nº XXI (page 145) rangée avec celles du tableau B. Cet échantillon prélevé sur la dent 27 vue sur la photographie nº 8 (page 147), se présentait sous la forme d'émail blanc crayeux que nous avons gratté à la curette. Cette lésion de la dent se situait sur la surface d'émail en contact avec l'appareil en or et n'avait pas la configuration habituelle des caries, comme nous l'avons déjà signalé. Ce type de lésion ou de dénaturation de l'émail est souvent rencontré sur les surfaces d'émail entrant en contact avec les surfaces métalliques des appareils amovibles. Il paraît être la conséquence d'une électrolyse de la surface de l'émail et d'une dissolution de celui-ci sous l'effet de l'acidité se développant autour des crochets et des plaques à la faveur du courant électrique engendré par le polymétallisme.

LA PLAQUE DENTAIRE.

La carie du type classique que nous rencontrons au niveau des points de contact des dents avec les restaurations inamovibles et dont l'aspect macroscopique est différent, suivrait le processus habituel d'initiation de la carie dentaire tel qu'il a été décrit par LEIMGRUBER: d'une part, la pièce métallique peut constituer elle-même la plaque cariogène par son acidité accrue, d'autre part le

deuxième phénomène qui est celui de l'établissement de l'irrésistance de l'émail serait le fait du polymétallisme et du déséquilibre ionosmotique qu'il entraine au voisinage des pièces de reconstitution.

Le tableau D (page 122) nous permet de constater que sur 46 échantillons analysés, 21 proviennent de caries développées au voisinage de pièces en or, 10 au voisinage de pièces en acier inoxydable ou alliage Cr-Co et 15 au voisinage d'obturations en amalgame. Parmi ces 15 derniers échantillons, 5 figurent au tableau A, c'est à dire que l'amalgame est le seul type d'alliage présent en bouche, qui par conséquent, peut présenter une polarité cathodique par rapport à d'autres amalgames. Au total, nous constatons que les caries se sont développées 31 fois auprès d'alliages nobles, auxquels nous pouvons ajouter les 5 amalgames incertains, et dans 10 cas seulement auprès d'alliages de polarité vile. Nous rappellerons ici encore l'article de Leimgruber sur les métaux à employer ou ne pas employer pour les crochets d'appareils (72).

L'étude du rapport $\frac{Cu}{Ag}$ caractéristique de la polarité de la pièce métallique, confirme cette constatation puisque nous trouvons dans 33 cas un rapport supérieur à 1 et dans 13 cas seulement un rapport inférieur à 1.

Nous ajouterons que la loi du nombre ne peut avoir joué à l'encontre de cette conception étant donné la quantité d'obturations en amalgame infiniment supérieure à celle des inlays et des couronnes en alliages précieux ou en or.

Cette statistique fait apparaître que malgre la nocivité supérieure des plaques dentaires se développant au voisinage des métaux de polarité vile, les caries se sont développées en plus grand nombre sur les surfaces en contact avec les métaux de polarité noble. Il se pourrait que dans le cas des caries rencontrées au voisinage des amalgames, la plaque développée à ce niveau ait favorisé l'éclo-

sion de la carie par son acidité accrue, mais un autre phénomène doit intervenir de façon plus importante dans le cas de celles développées auprès des métaux de polarité noble; nous y reviendrons plus loin avec l'étude de l'irrésistance de l'émail.

Nous rapporterons ici les observations faites par LIND, WENNERHOLM et NYSTROM (73). Ces auteurs ont fait une étude statistique des caries développées au contact d'obturations en amalgame d'Ag, en amalgame de Cu et en silicates. L'amalgame d'Ag était couplé avec l'un ou l'autre des deux matériaux. Les résultats ont donné 36,4 % de caries auprès des amalgames d'Ag contre 14,6 % auprès des amalgames de Cu lorsque ces deux alliages étaient présents simultanément en bouche, et dans le deuxième cas, 66,0 % pour les amalgames d'Ag contre 28,4 % pour les ciments au silicate.
Les auteurs ont attribué ces différences à la qualité de ces matériaux: le pouvoir antiseptique pour l'amalgame de Cu et la teneur en fluor pour les silicates. Nous ne saurions contredire ces conclusions, mais une interprétation complémentaire nous semble possible car, l'amalgame d'Ag apparaît dans les deux cas comme métal cathodique et nous venons de voir que c'est précisément à son niveau que les caries sont apparues en plus grand nombre.

LES OLIGO-ELEMENTS ET LA CARIE DENTAIRE.

A l'image des qualités cariopréventives du fluor, certains auteurs ont fait des investigations sur les propriétés de quelques oligo-éléments vis-à-vis de la solubilité de l'émail et de la prévention de la carie dentaire.

Rappelons tout d'abord avec NIXON (85) que la concentration en oligo-éléments varie d'une dent à l'autre, et que, si l'on peut considérer que certains éléments entrent dans la constitution du tissu dentaire à des doses déterminées et très faibles, les dif-

férences deviennent importantes après l'éruption de la dent du fait d'apports extérieurs plus ou moins massifs.

HARRIS et NIZEL (48) ont étudié le pouvoir cariogène de quelques ions, particulièrement H^+, Na^+, K^+, Ca^{++} ; nous retiendrons de cette étude la cariogénicité des sels de Na et l'importance de l'équilibre ionosmotique de part et d'autre de l'émail dans l'initiation de la carie. Nous rappellerons à ce sujet pour analogie, l'hypothèse émise par KLEIN (59) suivant laquelle le déséquilibre ionosmotique créé par des concentrations microbiennes importantes à la surface de l'émail entraînerait à l'intérieur de celui-ci des zones de dessication et ceci serait la cause de la carie dentaire.

L'ETAIN.

L'absorption du fluor sous forme de sels, combiné à différents métaux, a conduit à quelques constatations intéressantes. Tandis que VOLKER (134) conclut que les sels CaF_2 et NaF agissent de la même façon pour diminuer la solubilité de l'émail, il ne semble pas qu'il en soit de même pour d'autres sels dont l'action serait plus efficace.
BRUDEVOLD et STEADMAN rapportent les travaux de MUHLER et ses collaborateurs qui affirment que la diminution de la solubilité de l'émail et la réduction des caries dentaires chez le rat par le fluorure de Sn seraient supérieures à celles obtenues avec le fluorure de Na. MANLY et BABLY ont observé que le chlorure de Sn diminue la solubilité de l'émail et ERICSON rapporte que le chlorure de Sn serait aussi efficace que le fluorure de Sn sur l'émail intact. Chez l'enfant , l'application sur les dents de fluorure de Sn ou de fluorure de Na, sous forme de topique, produirait une forte réduction des caries dentaires.
Toutes ces observations portent à penser que le fluorure de Sn réagit sur l'émail ou bien qu'il y est retenu. La quantité importante

de Sn rencontrée sur les dents provenant de bouches contenant des amalgames serait le résultat d'une diffusion de ce métal à l'intérieur des dents. La fréquence des caries secondaires au bord des amalgames laisse entendre que le Sn provenant des amalgames n'a pas d'effet réducteur sur la carie. Les sels de Sn se sont révélés plus actifs à des pH bas et il est possible que les sels de Sn ne puissent être retenus que dans des conditions acides. Il est possible aussi que la diminution de la solubilité soit due au dépôt, à la surface de l'émail, d'un précipité insoluble décrit par FISHER, et que la supériorité des fluorures de Sn sur les fluorures de Na dans la prévention de la carie soit due à ce précipité et à d'autres réactions plutôt qu'à un dépôt plus important de Sn sur l'émail (Brudevold et Steadman, 16).

LE CUIVRE.

Le cuivre a beaucoup intéressé les auteurs; il se rencontre en tant qu'oligo-élément dans les tissus humains y compris l'émail dentaire (Nixon et Smith, 86).

BRUDEVOLD et STEADMAN (14) ont considéré comme normales les quantités de cuivre à peu près égales à celles contenues dans l'os; ce métal serait donc inclus dans les tissus dentaires au cours de sa calcification et les auteurs pensent qu'aucun gain réel n'a pu se produire après éruption de la dent. La théorie suivant laquelle le Cu rendrait l'émail plus résistant aux acides n'a pas été confirmée; il n'est pas exclu cependant, que de très fortes quantités de Cu pourraient produire un effet réduisant la solubilité de l'émail et augmenteraient la résistance à la carie comme porteraient à penser quelques indications cliniques. Ces auteurs rapportent encore l'observation de Rygge qui a trouvé que la teneur en Cu de l'émail du castor, naturellement de couleur brune, est similaire à celle de l'émail humain brun.

Le Cu pourrait être un facteur jouant un rôle important dans la for-

mation des os et la calcification des dents, et sa présence dans la salive en permettrait un apport constant à la dent. Des ions Cu à des concentrations inférieures à 5 ppm, exerceraient un effet inhibiteur sur la production d'acides salivaires.

HEIN (49) a étudié l'effet du Cu sur les dents de Hamster Syrien et a conclu que de petites quantités de sulfate de Cu ($CuSO_4$) auraient un effet préventif vis-à-vis de la carie chez cet animal, à l'opposé des résultats obtenus par Mac Clure, pour qui une concentration de 250 ppm n'avait pas d'effet prononcé chez le rat; et cet auteur a conclu qu'on ne peut pas, peut-être, transposer les résultats d'une espèce animale à une autre.

KOULOURIDES, FEAGIN et PIGMAN (62) ont étudié l'effet du chlorure de Cu ($CuCl_2$) sur l'émail et ont constaté que le traitement de l'émail ramolli, dans une solution de $CuCl_2$, inhibait la possibilité de redurcissement par traitement dans une solution calcifiante, mais qu'une certaine quantité d'ions Cu était nécessaire. Ils pensent que les ions Cu réagiraient sur les charges négatives de la surface de l'émail dans les microespaces créés par le ramollissement. La réactivation du redurcissement par le chlorure de Ca ($CaCl_2$) montrerait que les ions Cu réagissent avec les charges négatives.
SOBEL a fait les mêmes constatations d'inhibition et de réactivation sur le cartilage atteint de rachitisme, avec les chlorures de calcium ou de beryllium, et SHERMAN et SOBEL en 1965, ont démontré que les ions Cu inhibent la nucléation des cristaux d'apatite mais non leur croissance. Si l'émail comporte des mécanismes semblables de formation de cristaux, son redurcissement procèderait de nucléation de nouveaux cristaux dans les microespaces demeurés après le ramollissement.

Au total, cette étude n'apporte rien de définitif ni de bien précis susceptible d'être retenu à l'encontre de notre hypothèse, et avant de clore ce chapitre, signalons que d'autres oligo-éléments ont été étudiés, le Pb et le Zn par BRUDEVOLD et STEADMAN (15), le Fe par CLEMENTS (21) qui en a trouvé en faible quantité dans la

salive et qui pense que cet élément interviendrait dans la pigmentation des taches de l'émail, le strontium dont l'adsorption par l'émail et la dentine a été comparée à celle du calcium par HODGE, GAVETTE et THOMAS (52).

Nous n'avons pas trouvé d'étude intéressante pour l'Ag.

L'IRRESISTANCE DE L'EMAIL.

Dans la théorie exposée par LEIMGRUBER, deux facteurs sont indispensables à l'éclosion de la carie: la plaque cariogène pour laquelle nous venons de voir que la présence de métaux dans la bouche fait de certains une véritable plaque dentaire par acidification à leur niveau et l'irrésistance pour laquelle vont intervenir les cations eux-mêmes.Nous venons de voir que l'on ne peut pas retenir de propriété cariopréventive sûre pour les cations que nous avons étudiés. Ces cations interviendront dans notre exposé par leurs propriétés électriques, c'est à dire, leur charge électrique et leur degré de solvatation qui conditionnent leur mobilité et leur habilité à pénétrer dans le tissu dentaire. Nous verrons aussi de quelle façon ils seront susceptibles de neutraliser ce que l'auteur a désigné sous le vocable de " vecteurs de sécurité ", c'est à dire d'être chélatés et d'épuiser ainsi la réserve citratique des tissus calcifiés de la dent.

Il ne peut être question de reprendre ici la totalité de la théorie; nous en rapporterons les passages essentiels pour la compréhension de notre point de vue.

THEORIE PATHOGENIQUE DE LEIMGRUBER.

LEIMGRUBER a défini la carie dentaire comme étant:
" un dysfonctionnement de l'organe dentaire qui amoindrit la résistance de ses tissus minéralisés, qui provoque ensuite leur détérioration cariogène et qui permet finalement leur cavitation. La séquence des trois phases de la carie est immuable et elle se déroule tou-

jours de l'extérieur vers l'intérieur de la dent. Il résulte que la carie affecte l'organe dentaire physiologiquement tandis que la cavitation affecte exclusivement les tissus minéralisés; le tissu initialement affecté est toujours celui dont la surface est tournée vers la cavité buccale.

. . . . . Il est indispensable de distinguer la cavitation, destruction purement clinique des tissus durs de la dent, et la carie, sensibilisation pathogénique, qui, non seulement autorise l'activité délétère des agents cavitogènes, mais permet leur migration dans l'émail. . . . . Envisager la carie comme un dérèglement du métabolisme ionique de l'organe dentaire. . . . . Les aberrations susceptibles de perturber l'égalité

$$E^-_{\ pH\,=\,6,5} = A^-_{\ c\,=\,200\ mg\ \%}$$

proviennent toutes et toujours soit de la salive, soit d'un élément externe anormal.

. . . . . Il existe enfin une cause médiate accessoire à l'irrésistance produite par une répartition faussée des cations salivaires par excès de cations cariogènes divalents, facteur étiologique se manifestant par un épuisement prématuré des réserves citratiques dans la mesure où est réalisée la fonction pathologique.

. . . . . Ces conditions étant réalisées, sans que l'excès en cations virtuellement cariogènes soit inactivé sous forme de tartre, toutes les causes internes et externes qui provoquent une augmentation salivaire des cations divalents doivent être considérées comme causes éloignées accessoires de l'irrésistance.

. . . . . Au pH salivaire normal, une carence en anions polyvalents ou pour des pH salivaires tendant vers la neutralité ou l'alcalinité, une concentration invariablement normale des mêmes anions entraine l'inégalité $E^-_{\ pH} > A^-_{\ c}$, fonction typiquement pathologique qui aboutit forcément à un équilibre pathologique aussi.

. . . . . Une fois l'équilibre pathologique provoqué par la carence des anions polyvalents, mais réalisé par la migration des cations

atteint, la charge négative de la substance interprismatique a subi une réduction tandis que sa charge résiduelle positive est demeurée inchangée, situation qui correspond à la formation d'un point iso-électrique aberrant délétère passager ou permanent.

. . . . . En négligeant l'attraction électrostatique des anions, la vitesse de migration des cations dépend de deux facteurs:

1°) la charge qui donne naissance à un potentiel d'adsorption plus élevé pour les cations divalents que pour les cations monovalents (Ca^{++} et Mg^{++} seront mieux adsorbés que Na^{+} et K^{+}).

2°) de leur hydratation propre, donc du rayon ionique qui détermine leur mobilité (Ca^{++} et K^{+} sont plus mobiles que Mg^{++} et Na^{+})."

Pour ce qui concerne les vecteurs de sécurité, l'auteur les classe en deux catégories: les vecteurs passifs dont certains salivaires et d'autres actifs contenus dans l'émail lui-même: le citrate.

Nous rapporterons encore:

" . . . . . Si le partenaire salivaire de l'organe dentaire physiologique est supérieurement assuré contre les déviations réactionnelles, il semble moins bien protégé envers les divagations électrolytiques qui sont en dernier ressort responsables pour l'irrésistance.

. . . . . Les sels citriques déterminent le temps de latence avant l'installation de l'irrésistance."

Enfin pour la carie de l'ivoire, nous lisons encore:

. . . . . ." La carie de la dentine serait non seulement rendue possible par l'existence de la brèche amélodentinaire, mais diretement provoquée, au moins pour la première couche, par les cations cariogènes provenant du cône adamantin."

A priori, les textes que nous venons de rapporter placent nos cations dans les conditions propices à l'initiation de la maladie carie; leur action interviendrait sur l'égalité considérée comme indispensable à la santé de l'organe dentaire

$$E^{-}_{\ pH = 6,5} = A^{-}_{\ C = 200\ mg\ \%}$$

Nous ne devons pas perdre de vue que le nombre de cations métalliques libérés par corrosion sera constamment renouvelé. Ceux-ci interviendront tout d'abord dans la deuxième partie de l'égalité en se liant aux anions salivaires physiologiquement indispensables et en diminuant ainsi la charge négative que ces derniers assurent. Il apparaît ainsi l'inégalité $E^- > A^-$ qui va permettre l'adsorption d'autres cations anormaux à la surface de la dent et leur pénétration à l'intérieur de l'émail où se lieront avec eux des charges négatives de celui-ci pour établir l'égalité E^- + cations = A^-. Nous retombons sur le raisonnement de Leimgruber pour expliquer l'apparition d'un point isoélectrique aberrant, générateur de l'irrésistance de l'émail.

LES IONS QUE NOUS AVONS ETUDIES, SONT-ILS APTES A DE TELLES COMBINAISONS ?

Nous avons trouvé dans nos échantillons les cations Cu, Ag et Sn mais non Cr, Co et Ni; bien que les recherches bibliographiques que nous avons faites, nous présentent les alliages qui les contiennent comme inertes et non corrodables, leur absence dans nos biopsies ne constitue pas une preuve qu'il ne s'en trouverait pas dans la salive; il se pourrait simplement qu'ils ne soient pas aptes à pénétrer à travers la membrane émail. Il paraît donc digne d'intérêt de comparer ces six cations aux cations Ca, Mg, K et Na sur lesquels l'auteur a basé son raisonnement. Nous avons consulté à ce sujet les traités de chimie générale et de chimie minérale de Paul PASCAL (88,89).

LA VALENCE.

Leimgruber incrimine particulièrement les cations divalents ou plurivalents qui sont plus aptes à neutraliser les anions et les charges négatives tant dans la salive que dans l'émail; or l'Ag est parfois monovalent, le plus souvent bivalent et même quelques fois trivalent; sous cette forme, il n'est pas stable et est difficile à caractériser. Le Cu est lui aussi quelques fois monovalent mais généralement bivalent. Le Sn est bivalent ou tétravalent, le Ni bi-

valent, le Co bi ou trivalent et le Cr est quelques fois monovalent, mais dans la plupart de ses composés il est bi ou trivalent, il est parfois même hexavalent. De ce point de vue déjà, ces cations ne peuvent être inoffensifs.

LES RAYONS IONIQUES ET LA SOLVATATION.

A propos des rayons ioniques, nous avons trouvé des valeurs très différentes selon les auteurs et selon l'état du métal étudié. Les chiffres que nous avons recueillis proviennent d'auteurs divers et ont été déterminés par des techniques différentes sur des métaux différemment liés, de telle sorte que l'on trouve plusieurs valeurs pour un même métal à la même valence, en fait suivant leur degré de liaison dans la molécule, tant pour l'ion cristallite ou ion sec que pour l'ion en solution ou ion mouillé. D'autre part, la dilution de la solution contenant ces ions intervient aussi, car ces ions sont susceptibles de voir leur rayon diminué par striction dans les solutions plus visqueuses ou plus concentrées.

Leimgruber a donné la valeur du rayon ionique d'une série de cations, à son idée les plus cariogènes, et considère que les cations dont le rayon ionique serait supérieur à 1 jouiraient de propriétés plus cariogènes; il a d'ailleurs créé sa carie expérimentale avec des ions Ba^{++} de rayon ionique égal à 1,43. Ces valeurs se rapportent à l'ion sec et nous concevons que l'auteur ait considéré cet état plutôt que l'ion mouillé dont le rayon ionique varie avec le type de solution où il se trouve, sa température, sa viscosité etc.

Nous avons relevé les valeurs suivantes:

Ag^{+} :	Ion cristallite:	1,26	0,97	(Pascal P, 88)
		1,13		d'après Goldschmidt.
		1,16		d'après Pauling
		1,16		dans les sels minéraux
		1,62		dans les sels organiques (Pascal P, 89)
	Ion en solution	1,48		

Nombre de molécules d'eau fixées par solvatation:
1,05 d'après Darmois (Pascal P, 88)
0,3 d'après Helfferich (Ion Exchange, 50)

Ag^{++} : Ion cristallite : 0,89.

Cu^{+} : Ion cristallite : 0,96 (Pascal P, 88)
1,00 d'après Goldschmidt
0,69 d'après Pauling
(Pascal P, 89)

Cu^{++} : Ion cristallite : 0,78
Ion en solution : 3,27
Nombre de molécules d'eau fixées par hydratation :
6,3 d'après Darmois (Pascal P, 88)

Sn^{++} : Ion cristallite : 0,93

Sn^{++++}: Ion cristallite : 0,71
0,65
Ion en solution : 3,66
Nombre de molécules d'eau fixées par hydratation :
8,8 d'après Darmois

Cr^{+} : Ion cristallite : 0,81

Cr^{++} : Ion cristallite : 0,89

Cr^{+++}: Ion cristallite : 0,63
0,70
Ion en solution : 4,09
Nombre de molécules d'eau fixées par hydratation :
12,5 d'après Darmois.

Cr^{++++++}: Ion cristallite: 0,52

Co^{++}: Ion critallite : 0,78
Ion en solution : 3,42
Nombre de molécules d'eau fixées par hydratation :
7,1 d'après Darmois.

$\underline{Co^{+++}}$: Ion cristallite : 0,63
Ion en solution : 4,09

$\underline{Ni^{++}}$: Ion cristallite : 0,74
0,69
Ion en solution : 3,42
Nombre de molécules d'eau fixées par hydratation :
7,2 d'après Darmois.

$\underline{Na^{+}}$: Ion cristallite : 1,00
Ion en solution : 1,83
Nombre de molécules d'eau fixées par hydratation : 1,6 .

$\underline{K^{+}}$: Ion cristallite : 1,33
Ion en solution : 1,24
Nombre de molécules d'eau fixées par hydratation : 0,6 .

$\underline{Ca^{++}}$: Ion cristallite : 1,05
Ion en solution : 3,07
Nombre de molécules d'eau fixées par hydratation : 5,43 .

$\underline{Mg^{++}}$: Ion cristallite : 0,75
Ion en solution : 3,45
Nombre de molécules d'eau fixées par hydratation : 7,35 .

Si l'ion cristallite est un élément plus régulier et, si Leimgruber s'y est référé, ce n'est pas dans cet état qu'il intervient dans la bouche. Les métaux quels qu'ils soient ne peuvent intervenir dans la bouche qu'à l'état de solution, et dans cet état, les rayons ioniques sont très variables. Il n'y a presque jamais accord entre les deux valeurs, ni de régularité apparente dans les différences entre ces deux grandeurs (Pascal P, 88). La solvatation des ions est d'autant plus marquée que le rayon ionique est plus petit, c'est à dire que, pour la même valence, le champ extérieur à l'ion est plus fort.

LA CHELATION.

Enfin, il nous faut considérer encore le problème de la stabilité des complexes que ces ions sont susceptibles de former dans la bouche avec les ions présents dans la salive, susceptibles de les masquer, ou bien avec ceux de l'émail, en particulier, ceux participant aux vecteurs de sécurité de la dent. Nous avons, là encore, consulté les traités de chimie et pensons qu'il n'est pas possible de formuler d'hypothèse, étant donné la complexité du sujet, sans investigation nouvelle au niveau de la salive et de la dent. Nous citerons les lignes suivantes de Paul PASCAL :

" Les ions métalliques positifs se dissimulent presque toujours en effet, d'autant mieux qu'ils sont plus faiblement électropositifs et de valence plus élevée. Ces deux facteurs varient d'ailleurs souvent de pair, et le fait est manifeste quand on étudie les états successifs de valence d'un même métal.
Ainsi l'ion cobalt divalent ne donne que des complexes imparfaits contrairement à l'ion cobalt trivalent; or les électro-affinités de ces deux états sont respectivement:

pour Co^{++} = - 0,237 V
Co^{+++} = - 0,441 V

. . . . . De même, les ions métalliques monovalents Na^{+}, K^{+}, etc ne donnent pas de complexes, car leur volume atomique est élevé, mais les ions Ag^{++}, Cu^{++} correspondant à des faibles volumes atomiques donnent quelques complexes, assez instables d'ailleurs. Les ions divalents correspondant à des volumes atomiques faibles (Fe^{++}, Co^{++}, Pd^{++}) fournissent des complexes de stabilité moyenne, mais non ceux de volume atomique relativement élevé comme Ca^{++}, Mg^{++}.
Avec les valeurs 3 et 4 au contraire (Co^{+++}, Fe^{+++}, Pt^{+++}) apparaissent de nombreuses séries de complexes stables.".

Stabilité des complexes.

	r.i	E.i	
Cs^{+}	1,67	0,61	Pas d'ions hydratés, ni de complexes, sels généralement anhydres.
Rb^{+}	1,48	0,67	
K^{+}	1,33	0,71	

Na^{+}	0,98	1	Sels hydratés mais pas de complexes stables.
Ba^{++}	1,31	1,4	
Hg^{++}	1,12	1,8	
Cd^{++}	1,03	1,9	
Ca^{++}	0,98	1,9	
Zn^{++}	0,83	2,4	Ions toujours hydratés.
Co^{++}	0,82	2,4	Ions facilement ammoniés.
Ni^{++}	0,78	2,5	Tendance croissante à la formation de complexes stables.
Fe^{+++}	0,67	4,5	
Co^{+++}	0,66	4,5	
Cr^{+++}	0,65	4,6	
Al^{+++}	0,57	5,3	
Pt^{++++}	0,66	6,0	

r.i : rayon ionique

E.i : potentiel à la surface de l'ion. (Pascal P. 88)

Ces considérations impliquent évidemment que cet ouvrage appelle une suite qui serait une étude de la réciproque du travail que nous terminons; ce ne serait que la suite logique de toute hypothèse en matière de recherche. Il s'agirait donc d'essayer de créer des caries artificielles en utilisant les ions que nous avons étudiés. Si nous ne savons pas dans quel état de valence les ions se présentent in vivo à la surface de l'émail, cette ignorance n'aurait pour effet que d'augmenter le nombre d'expériences à conduire car il faudrait en pratiquer avec chaque élément dans chacun de ses états de valence. Un travail de chimie préalable serait évidemment de grande utilité en éclairant le devenir de ces ions dans la salive en dehors du rôle néfaste dont nous les avons accusés.

CONCLUSION GENERALE

En conclusion de ce travail, il semble que l'on puisse affirmer, sans préjudice des éléments classiques habituels responsables du développement des caries dentaires, que des conditions particulières favorables à l'éclosion de caries nouvelles existent au contact des pièces métalliques de reconstitutions dentaires ou de remplacement. Ces conditions particulières sont :

1°) Le courant galvanique qui circule entre les pièces métalliques et entraîne des phénomènes d'électrolyse sur les dents elles-mêmes. Cette électrolyse se traduit, dans certains cas, par de grandes surfaces d'émail blanc crayeux au contact avec les électrodes.
A l'analyse, cet émail a révélé contenir de fortes quantités de métaux entrant normalement dans la composition des alliages dentaires.

2°) Cette électrolyse entraîne l'apparition d'acide au pôle constitué par le métal le plus vil de telle sorte que ce métal peut jouer le rôle de plaque cariogène acide.

3°) Par suite de la corrosion, des ions métalliques sont mobilisés, migrent suivant leur polarité et le courant galvanique, et viennent se concentrer au niveau des électrodes, détruisant ainsi l'équilibre ionosmotique à leur voisinage et en particulier à la surface des dents entrant en contact avec les électrodes. Cet équilibre rompu entraîne la pénétration de ces ions à l'intérieur de l'émail de ces dents; l'équilibre ionique à l'intérieur du tissu est lui aussi dé-

truit, entraînant la condition essentielle à l'éclosion de la maladie carie, l'irrésistance de l'émail.
Nous voyons apparaître l'une et l'autre des deux conditions nécessaires,décrites par Leimgruber, pour l'initiation de la carie. La statistique qui résulte de ce travail confirme l'importance première de l'irrésistance de l'émail.

Du point de vue des métaux incriminés, l'amalgame dentaire semble être l'élément responsable en premier lieu. Sa composition et sa constitution comportant plusieurs phases plus ou moins viles non homogènes, sur les quelles nous nous sommes attardés d'une part, l'impossibilité clinique d'un polissage parfait de toutes ses faces d'autre part et la fragilité des couches de protection susceptibles d'apparaître à sa surface, font de lui qu'il est impossible que cet alliage, dans le milieu liquide qu'est la bouche ne détermine pas de phénomènes galvaniques et ne se corrode pas à un très haut degré.

Nous avons vu que les alliages à base de métaux précieux se ternissent aussi en bouche et que pour le moins, ils constituent des activateurs à l'apparition du galvanisme et de la corrosion endo-buccale, ne serait-ce que par le fait qu'ils s'instaurent comme pôle cathodique vis-à-vis des métaux vils.
En principe la constitution des alliages à base de métaux précieux que nous installons en bouche est plus homogène et est susceptible d'homogénéisation après les traitements que nous leur faisons subir. Certains comportent cependant quelques métaux correctifs vils.
Les résultats de notre expérimentation ont montré que c'est à leur niveau que les caries sont apparues en plus grand nombre, dans le rapport de 3/4.

Les études cliniques faites sur les aciers inoxydables et les alliages Cr-Co ont montré un comportement meilleur dans les milieux biologiques, en particulier pour ces derniers. Cependant, les

travaux entrepris pour étudier leur constitution et justifier ce comportement, ont conduit à constater qu'ils présentent une structure qui n'est pas toujours une solution solide; il y a été vu deux et trois phases.

S. SANDHAUSS (148) relate que les échecs recueillis en implantologie dentaire, à l'encontre des succès de la chirurgie, sont dus à la différence d'usinage des métaux. Tandis qu'en chirurgie, les pièces sont contrôlées par toutes les techniques nécessaires avant leur utilisation, en implantologie dentaire, les pièces sont coulées au laboratoire et leur structure est modifiée considérablement.

Il serait souhaitable que les alliages placés en bouche soient identiques, que leur usinage soit conduit de façon parfaite et toujours la même et qu'ils aient toujours subi le polissage électrolytique qui paraît être la meilleure méthode d'homogénéisation de surface des métaux; l'état de surface des métaux étant en définitive le facteur déterminant des phénomènes de corrosion et de galvanisme (Jaquet, 142. Mathy-Laurichesse, 143).
Ceci évidemment éliminerait l'amalgame de la pratique dentaire.

Certains points, dans ce travail, auraient besoin d'éclaircissements et nécessiteraient d'autres études importantes; notre prétention est d'apporter ici une contribution à l'étude de cette maladie qui a fait couler tant d'encre et qui apparaît comme un véritable fléau social dont la civilisation ne fait qu'augmenter l'importance, malgré les efforts et les recherches nombreuses dans tous les pays.

BIBLIOGRAPHIE

1 ACHARYA A, FREISE E & GREENER E.H :Potentiels d'électrode à circuit ouvert et microstructure de quelques alliages binaires Cr-Co. Cobalt, 1970, n° 47, juin, 75-80.

2 ATKINSON H.F : An investigation into the permeability of human enamel using osmotic methods . Brit.Dent.Jour., 1947, 83, nov, n° 10, 205-214.

3 ATKINSON H.F : The permeability of human enamel. II An investigation employing a method of cataphoresis. Brit.Dent.Jour., 1948, 84, n°6, 113-119.

4 BATAREC H : La prothèse décolletée. Thèse Paris 1969.

5 BAUSH & LOMB : Absorption atomique.

6 BENNEJEANT Ch : Alliages dentaires de métaux ferreux et réfractaires. P.O.S. 569.

7 BERGE P : Sur l'influence de l'oxygène sur le comportement électrochimique des aciers inoxydables en solution sulfurique. C. R. Académie des Sciences. 1959, juillet, 262-264.

8 BERNARD P.D : Electrologie dentaire: la conductibilité électrique dentaire. P.O.S. 335.

9 BIBBY M.J & GORDON-PARR J : The $\alpha \longrightarrow \epsilon$ transformation in polycristalline cobalt. Cobalt,1963, n°20, sept, 1-3.

10 BIEN M.S & AYERS H.D Jr : Electrochemical phenomena at a solid state junction. Jour.Dent.Res., 1960, 39, july-aug, 764.

11 BLOCK & BECKSTROEM : Ionometrische untersuchungen zur metallose der gewebe. Arch.Klin.Chir., 1953, 277, 89-103

12 BOSSON P : Hydrate de carbone et carie dentaire; conclusion sur des recherches récentes. Ann.Odonto-Stomat., 1961, 18, n°6, dec, 251-265.

13 BRUDEVOLD F & STEADMAN L.T. : Determination of copper and lead in surface and subsurface enamel. Jour.Dent.Res., 1953, 32, oct, 640.

14 BRUDEVOLD F & STEADMAN L.T. : A study of copper in human enamel. Jour.Dent.Res., 1955, 34, april, 209-216.

15 BRUDEVOLD F & STEADMAN L.T.: The distribution of lead in human enamel. Jour.Dent.Res., 1956, 35, june, n° 3, 430-437.

16 BRUDEVOLD F & STEADMAN L.T. : A study of tin in enamel. Jour. Dent.Res., 1956, 35, oct, n°5, 749-752.

17 BRUGIRARD J : Etude du comportement électrochimique des métaux et alliages dentaires. Thèse Lyon 1970.

18 CARAFAS T : Spectrochemical Laboratory of Research on metal in living tissues. Mellon Institut News, 1960.

19 CARTER D.A, ROSS T.K & SMITH D.C. : Some corrosion studies on silver tin amalgam. Brit.Cor.Jour., 1967, 2, sept, 199-205.

20 CHARLES J : Equilibre acido-basique salivaire et carie dentaire. Thèse Paris 1969.

21 CLEMENTS R.M. Jr : Saliva. Its composition and function. Jour. Mis.Dent.Ass., 1968, 48, n° 11, nov, 6-13.

22 DECHAUME M, GOGUEL S & POULLAIN P : La salive humaine. Rev.Stomat., 1950, 51, août-sept, n° 8-9, 521-552.

23 DENIER DE LA TOUR DU PIN A : Une curieuse pile et ses effets. Société Franç. d'électrothérapie, 1937, fev, 80-81.

24 DENIER DE LA TOUR DU PIN A : Les phénomènes bioélectriques de la peau. Ann.Derm.Syph., 1945, 5, janv-fév., 23-26.

25 DENIER DE LA TOUR DU PIN A : L'électrogalvanisme buccal. L'Hôpital 1945, 33, mai, n° 526, 85.

26 DENIER DE LA TOUR DU PIN A : La pathologie engendrée par le galvanisme buccal; une micropile permanente. Ann.Odonto.Stomat., 1955, 12, n° 5, sept-oct, 211-229.

27 DENIER DE LA TOUR DU PIN A : La pathologie engendrée par le galvanisme buccal: une micropile. Jour.Radiol.Electrol., 1955, 36, n° 5-6, 451-455.

28 DENIER DE LA TOUR DU PIN A : La pathologie engendrée par le galvanisme buccal : une micropile permanente. Presse Médicale, 1955, 63, n° 26, 9 avril, 529-531.

29 DENIER DE LA TOUR DU PIN A : Réflexion sur le galvanisme buccal: une micropile permanente. L'Hôpital, 1955, 43, mai, n° 646, 369-371.

30 DENIER DE LA TOUR DU PIN A : Réflexions sur le galvanisme buccal. Jour.Radiol.Electrol., 1955, 36, n° 7-8, 642-644.

31 DENIER DE LA TOUR DU PIN A : Réflexions sur le galvanisme buccal une micropile permanente. Rev.Path.Géné., 1956, 56, mars, n°676, 571-578.

32 DOCQ M : Les stellites. E.M.C., 23 065 R 10.

33 DOCQ M : Aciers inoxydables. E.M.C., 23 065 T 10.

34 DUBOIS-PREVOST R : Le milieu buccal: caractères physiques, chimiques et biologiques. E.M.C. 22 009 R 10.

35 EGGER LURA H : The non acid complexing theory of dental caries. Holbaek, Denmark, 1967.

36 EINTRACHT F : Oral galvanism. Jour.Dent.Ass.South Africa, 1960, 15, nov, 358-363.

37 ETIENNE M : Action d'un corps métallique étranger sur le tissu osseux. Soc.Chimie de Montp., 1954, 28 mai, 181-182.

38 FAIRHURST C.W & RYGE G : X ray diffraction investigation of the SnHg phase in dental amalgam.Adv.Xray.Ann., 1961, 5, 64-70.

39 FARRELL J.H : Galvanic action between dental restorations. Brit.Dent.Jour., 1958, 104, 18 feb., 128-129.

40 FOROUD A.K : Etat métallique et corrosion. II Corrosion. P.O.S. 1182.

41 FRANK R : Lettre à M. Dechaume. Inf.Dent., 1972, 54, n° 5, 3 fév 427.

42 FUCHS & PUSZAR G : The structure of cobalt-chromium, medical, dent.alloys. Fogcrvdsi Szemle, 1958, 51, 305. English summary.

43 FUSAYAMA T, KATAYORI T & NOMOTO S : Corrosion of gold and amalgam placed in contact with each other. Jour.Dent.Res., 1963, 42, sept-oct, n° 5, 1183-1197.

44 GOGUEL S.M : La salive humaine. Thèse Paris 1949.

45 GUTHROW C.E, JOHNSON L.B & LAWLESS K.R : Corrosion of dental amalgam and its component phases. Jour.Dent.Res., 1967, 46, nov-dec.,n° 6, 1372-1381.

46 HABU Hiroyoshi : A polarographic study of the corrosion tendency of dental amalgam. Jour.Nihon Univ.Sch.Dent., 1964, 6, 6-16.

47 HARDWICK J.L & MARTIN C.J : A pilot study using mass spectrometry for the estimation of the trace element content of dental tissues. Helv.Odont.Acta., 1967, 11, 62-70.

48 HARRIS R.S & NIZEL A.E : Effects of cations on the cariostatic activity of orthophosphates. Jour.Dent.Res., 1965, 44, march-april, n° 2, 416-420.

49 HEIN J.W : Effect of copper sulfate on initiation and progression of dental caries in the Syrian Hamster. Jour.Dent.Res., 1953, 32, oct, 654.

50 HELFFERICH : Ion Exchange. Mc Gran Hill Company. London 1962.

51 HESS J.C & PERRIAT J : Ciments au silicate . E.M.C. 23 065 K 10.

52 HODGE H.C, GAVETT E & THOMAS I : Absorption of strontium on enamel dentine, bone and hydroxylapatite as shown by radio-active isotope. Jour.Dent.Res., 1943, 22, 200.

53 HOUSSET P : Continuous clasps : Principes. P.O.S. 595.

54 INOVAY J & BANOCZY Y : The role of electrical potential differences in the etiology of chronic diseases of the oral mucosa. Jour.Dent.Res., 1961, 40, n° 5, sept-oct, 884-890.

55 INOVAY J & BANOCZY Y : Effets de la différence des potentiels électriques sur la muqueuse buccale provoquée par des métaux divers. (Budapest) Rev.Stomat., 1960, 61, n° 9, sept, 669-676.

56 Inter.Dent.Jour., 21, n° 1, march, 124.

57 JEFFERY G.E.S.: The permeability of enamel. Brit.Dent.Jour., 1932, 53, july, n° 2, 65-76.

58 JOHANSSON B : Remineralization of slightly etched enamel. Jour. Dent.Res., 1965, 44, n° 1, Part 1, jan-feb, 64-70.

59 KLEIN H.S : Théorie nouvelle sur la nature et les causes de la carie dentaire. Med.Hyg., 1967, 25, n° 804, déc, 1391.

60 KLEIN H.S & AMBERSON W.R : A physico-chemical study of the structure of dental enamel. Jour.Dent.Res., 1929, 9, 667-688.

61 KOPACZEWSKI W : Caractères physico-chimiques et rôle régulateur de la salive. Paris Médical, 1937, n° 35, 28 août, 141-147.

62 KOULOURIDES T, FEAGIN F & PIGMAN W : Effects of pH, Ionic strength and cupric ions on the rehardening rate of buffer softened human enamel. Arch.Oral.Biol., 1968, 13, 3 march, 335-341.

63 LAIN E.S : Chemical and electrolytic lesions of the mouth caused by artificial dentures. Arch.Dermat.Syph., 1932, 25, n° 1, jan, 21-32.

64 LAIN E.S : Electrogalvanic lesions of the oral cavity produced by metallic dentures. J.A.M.A., 1933, 100, march, n° 10, 717-720.

65 LAIN E.S : Electric phenomena in the oral cavity. Dent.Digest., 1934, 40, june, 214-215.

66 LAIN E.S : Lesions of the oral cavity caused by physical and by physico-chemical factors. Arch.Derm.Syph., 1940, 41, 295-307.

67 LAIN E.S & CAUGHRON G.S : Electrogalvanic phenomena of the oral cavity caused by dissimilar metallic restorations. J.A.D.A., 1936 23, sept, 1641-1652.

68 LAIN E.S, SCHRIEVER W & CAUGHRON G.S : Problem of electrogalvanism in the oral cavity caused by dissimilar dental metals. J.A.D.A., 1940, 27, nov, 1765-1772.

69 LEIMGRUBER Ch : Physiologie de l'organe dentaire. E.M.C. 22 001 G 10.

70 LEIMGRUBER Ch : Carie dentaire. E.M.C. 22 019 A 10.

71 LEIMGRUBER Ch : Pathogénie de la cavitation. E.M.C. 22 0I9 A 30.

72 LEIMGRUBER Ch : Crochets; choix du métal: or ou acier ? P.O.S. 570-571.

73 LIND V, WENNERHOLM G & NYSTROM S : Contact caries in connection with silver amalgam, copper amalgam and silicate fillings. Act.Odont.Scand., 1964, 22, août, 333-341.

74 LUKSICH G & CONFORTI G : Sulla mizurazione delle correnti elettrogalvaniche che si generano tra leghe metalliche diverse comunemente usate nella pratica odontoiatrica. Stomatologica, 1962, n° 3, 260-279.

75 MACGREGOR A.B & FICKLING B.W : Electrolytic action in dental appliances. The Lancet, 1943, 2, sept, 290-291.

76 MADURO R & TISSIE M : Le problème de l'électrogalavnisme buccal. Semaine des Hôpitaux, Paris, 1950, 26, n° 57, août, 2767-2771.

77 MANDEL I.D : Histological, histochemical and other aspects of caries initiation. J.A.D.A., 1955, 51, oct, 432-441.

78 MATEER R.S & REITZ C.D : Corrosion of amalgam restorations. Jour.Dent.Res., 1970, 49, n° 2, march-april, 399-407.

79 MICHALOWSKI R : Perlèche électrogalvanique : ses relations avec la stomatite électrogalvanique. (Varsovie) Rev.Stomat., 1958, 59, n° 12, déc, 854-861.

80 MIZUMA M : Some possible factors concerning the development of dental caries. Jour.Biochem., 1937, 25, n° 3, 671-689.

81 MODJESKI Ph.J : Corrosion of metals in the mouth. Material Protection, 1966, 5, n° 4, april, 41-43.

82 MORRAL F.R : Cobalt alloys as implants in humans. Jour.of Materials, 1966, 1, n° 2, june, 384-412.

83 MUMFORD J.M : Electrolytic action in conservative dentistry and its relationship to pain. Brit.Dent.Jour., 1953, 94, may, 256-260.

84 MUMFORD J.M : Pain due to galvanism. Brit.Dent.Jour., 1960, 108, april, 299-301.

85 NIXON G.S : Trace element content of the hard dental tissues and dental plaque. Caries Res., 1969, 3, 60-74.

86 NIXON G.S & SMITH H : Estimation of copper in human enamel by activation analysis. Jour.Dent.Res., 1962, 41, sept-oct, 1013-1016.

87 PALMER S.B : Discussion. Dent.Digest, 1902, 8, 1113-1117.

88 PASCAL P : Chimie Générale. 4 Vol., Tome n° 3, Masson 1951.

89 PASCAL P : Chimie Minérale. 28 Vol., Tomes n° 3, 8, 14, 17. Masson, Paris.

90 PIERSON M : Corrosion : éléments altérants présents dans la cavité buccale. P.O.S. 534.

91 PIERSON M : Métaux et alliages prothétiques: présentation et classification. P.O.S. 564-565.

92 PIERSON M : Corrosion: Théorie électro-chimique d'Evans. P.O.S. 537.

93 POOLE D.F.G, TAILBY P.W. & BERRY D.C : The movement of water and other molecules through human enamel. Arch.Oral.Biol., G.B., 1963, 8, n° 6, 771-772.

94 REED G.J & WILLMAN W : Galvanism in the oral cavity. J.A.D.A., 1940, 27, sept, 1471-1475.

95 REINHARD M.C, SOLOMON H.A & GOLTZ H.L : Further experiments in oral galvanism. J.A.D.A., 1939, 26, nov, 1846-1848.

96 RETIEF D.H, CLEATON-JONES P.E, TURKSTRA J & DE WET W.J : The quantitative analysis of Cr, Ba, Sb, Ag, Zn, Co and Fe in normal human enamel and dentine by neutron activation and high resolution gamma-spectrometry. Jour.Dent.Ass.South Africa, 1970, 25, oct, 370-375.

97 REY H : Alliages dentaires à base de Cobalt. P.O.S. 1408.

98 RHEINWALD U : Electrologie buccale: les affections dues aux courants électriques. Inf.Dent., 1953, 35, n° 53, déc, 1671-1676.

99 RHEINWALD U : Beiträge zur elektrobiologie der mundhöle. IX Galvanische ströme als krankheitsursache. Deutsch Zahn mund und Kieferheilkunde, 1953, 18, n° 7-8, 265-287.

100 RHEINWALD U : Electrobiologie buccale. Med.Hyg., 1954, n° 261, mars, 91.

101 RHEINWALD U : Biolektrische metallwirkungen in der mundhöle. Oster.Zechz.Stomat., 1956, 53, n° 10, 519-526.

102 RIGAL R : Galvanisme, corrosion et polissage électrolytique en art dentaire. Inf.Dent., 1955, 37, n° 25, juin, 1078-1089.

103 ROCHETTE M : L'Electrogalvanisme buccal et ses manifestations cliniques: stomatites, leucoplasies. L'Hopital, 1945, 33, n° 524, mars, 44-45.

104 ROUGEREAU A, CHARLES J & BERENHOLC Ch : Influence de l'âge sur la composition minérale de la dent de rat. Sc.Rech.Odonto-Stomat. 1971, avril, n° 4, 27-29.

105 ROUGIER G & FABRE R : Physiologie médicale. 1 Vol. Maloine, Paris, 1950.

106 SAINT SAUVEUR M : Alliages dentaires: stellites. P.O.S. 1407.

107 SCHOONOVER C & SOUDER W : Corrosion of dental alloys. J.A.D.A. 1941, 28, aug, 1278-1291.

108 SCHRIEVER W & DIAMOND L.E : Electromotive forces and electric currents caused by metallic dental fillings. Jour.Dent.Res., 1952, 31, april, n° 2, 205-229.

109 SHIGEO TAKAHASHI : Electro chemical processes in oral tissues. Inter.Dent.Jour., 1968, 18, dec, n° 4, 823-831.

110 SKINNER E.W. & PHILLIPS R.W : The Science of Dental Materials. 1 Vol., 6° édition, édition Française, Julien Prélat, Paris, 1971.

111 SOLOMON H.A & REINHARD M.C : Electric phenomena from dental metals. Dental Survey, 1933, 75, dec, 23-58.

112 SOLOMON H.A & REINHARD M.C : Electrical currents from dental metals as an etiologic factor in oral cancer. A.J.Cancer, 1934, 22, 606-610.

113 SOLOMON H.A, REINHARD M.C & GOODALE H.I : The possibility of precancerous oral lesions from electrical causes. Dental Digest, 1933, 39, april, 142-145.

114 SOLOMON H.A, REINHARD M.C & GOLTZ H.L : Salivary influence on galvanism. D.I.I., 1938, 60, nov, 1047-1052.

115 SOREMARK R & LUNDBERG M : Gamma-ray spectrometric analysis of the concentrations of Cr, Ag, Fe, Co, Rb and Pt in normal human enamel. Acta.Odont.Scand., 1964, 22, 255-259.

116 SPEIRS R.L : The nature of surface enamel. Brit.Dent.Jour., 1959, 107, n° 8, oct, 209-217.

117 STAWINSKI K & WOJCIAK L : Teoretyczne podstawy tworzenia sie pradow galwanicznych w jamie ustnej. Les bases théoriques de la génération du courant galvanique dans la cavité buccale. Polski Tygod Lek, 1966, 21, n° 2, 64-67.

118 STEGEMAN K : Welchen nutzeffekt haben potentialmesungen im munde. Quels sont les effets utiles de la mesure des potentiels dans la bouche? Zahnarzth Rundschau, 1959, 68, n° 11, juin, 256-262.

119 STEGEMAN K : Korrosionserscheinungen an dentallegierungen. Corrosion des alliages dentaires. D.Z.E., 1956, avril, 391-409.

120 SWARTZ M.LL, PHILLIPS R.W & TANNIR M.D.E : Tarnish of certain dental alloys. Jour.Dent.Res., 1958, 37, n° 5, sept-oct, 837-847.

121 TAKEUCHI M, KIZU T, SHIMIZU T, ETO M & AMANO F : Sealing of the pit and fissure with resin adhesive.II, results of nine month's field work, an investigation of electric conductivity of teeth. Bull.Tokio Dent.Coll., 1966, 7, n° 1, march, 60-71.

122 TARBET W.J : A study of the penetrability and post-eruptive maturation of human dental enamel. Dissert.Abst.U.S.A., 1965, 25, n° 9, 4948.

123 TORFS A.E : Comment les restaurations dentaires peuvent engendrer des courants galvaniques pathogènes. Rev.Bel.Sc.Dent., 1958, 13, n° 4, 483-520.

124 TOURAINE A : Stomatites et leucoplasies électro-galvaniques. Presse Médicale, 1938, 46, n° 17, fév, 313-315.
Rev.de Stomat., 1938, 40, mars, 145-155.

125 UNICAM ATOMIC ABSORPTION METHOD, for the Unicam S.P. 90 Atomic absorption spectrophotometer. Cobalt, Co 1.

126 UNICAM ATOMIC ABSORPTION METHOD, for the Unicam S.P. 90 Atomic absorption spectrophotometer. Chromium, Cr 1.

127 UNICAM ATOMIC ABSORPTION METHOD, for the Unicam S.P. 90 Atomic absorption spectrophotometer. Nickel, Ni 1.

128 UNICAM ATOMIC ABSORPTION METHOD, for the Unicam S.P. 90 Atomic absorption spectrophotometer. Tin, Sn 3.

129 VENABLE C.S & STUCK W.G : Electrolysis controlling factor in the use of metals in treating fractures. J.A.M.A., 1938, 111, n° 15, oct, 1349-1352.

130 VENABLE C.S & STUCK W.G : A general consideration of metals for buried appliances in surgery. Int.Abst.Surg., 1943, 76, n° 4, april, 297-304.

131 VENABLE C.S & STUCK W.G : Results of recent studies and experiments concerning metals used in the internal fixation of fractures. Jour.Bone and Joint Sur., 30 A, n° 1, jan, 247-250.

132 VENABLE C.S, STUCK W.G & BEACH A : The effects on bone of the presence of metals based upon electrolysis. Ann.of Surg., 1937, 105, n° 6, june, 917-938.

133 VIEILLEFOSSE R & ROUSSIN E : Amalgames d'argent. E.M.C. 23 065 M 10.

134 VOLKER J.F : Observations on the adsorption of fluoride by the enamel. Jour.Dent.Res., 1943, 22, 201.

135 WAGNER H.J, STEWART J.C, DUNLEAVY J.G & HALL A.M : La résistivité électrique des alliages à base de cobalt. Cobalt, 1961, sept, 1-7.

136 WAKAI E : Potential difference between various kinds of metals applied in oral cavity and their physiologic effect. J.A.D.A., 1936, 23, june, 1000-1006.

137 WATERS N.E : The selectivity of human dental enamel to ionic transport. Arch.Oral.Biol., 1971, 16, 3, 305-322.

138 ZUHRT Rainer : Die lokalen und allgemeinen schadigungen des patienten durch verwendung nichtkorrosions fester metalle zum zwecke des zahnersatzes. Dtsch.Stom., 1955, 1, 50-53.

139 BURDAIRON G : La corrosion du tantale en milieu osseux. Thèse Paris 1970.

140 CAITUCOLI F : Communication personnelle.

141 CAITUCOLI F & DUFRECHE R : Les alliages inoxydables: étude physique, chimique et mécanique. Applications prothétiques. Rev. de Stomatologie, 1951, 52, n° 10, 848-866.

142 JAQUET : Le polissage électrolytique des métaux. Revue " Atome " 1953, n° 87, 183-208.

143 MATHY-LAURICHESSE C : Le polissage électrolytique en prothèse dentaire. Inf.Dent., 1955, 35, n° 1, 5-7.

144 PHILLIPS L.J, SCHNELL R.J & PHILLIPS R.W : Measurement of electric conductivity of dental cement. I- Method and values for dry specimens. J.D.R., 1954, 33, 400-413.

145 PHILLIPS L.J, SCHNELL R.J & PHILLIPS R.W : Measurement of electric conductivity of dental cement. II- Values for specimens exposed to moisture. J.D.R., 1955, 34, 51-58.

146 PHILLIPS L.J, SCHNELL R.J & PHILLIPS R.W : Measurement of electric conductivity of dental cement. III- Effect of increased contact area and thickness. Values for resin, calcium hydroxide, zinc oxide-eugenol. J.D.R., 1955, 34, 597-607.

147 PHILLIPS L.J, SCHNELL R.J & PHILLIPS R.W : Measurement of electric conductivity of dental cement. IV- Extracted human teeth; in vivo tests; summary J.D.R., 1955, 34, 839-848.

148 SANDHAUS S : Nouveaux aspects de l'implantologie. L'Implant C.B.S. Lausanne, mars 1969.

TABLE DES MATIERES

PLAN GENERAL 1

INTRODUCTION 7

LA CORROSION ET LE GALVANISME ENDOBUCCAL 12

Le milieu buccal:

la bouche et ses fonctions 13

la salive 14

Les alliages dentaires 21

les alliages d'or 22

les aciers inoxydables et les alliages Cr-Co 26

les amalgames 30

propriétés électrolytiques des alliages dentaires 32

L'électrogalvanisme buccal 38

la différence de potentiel 46

valeurs de la d.d.p. 48

intensité du courant 49

le circuit extérieur 50

La corrosion 53

corrosion des alliages d'or 55

corrosion des aciers inoxydables et des alliages Cr-Co 56

corrosion des amalgames 60

Conclusion 68

ETUDE EXPERIMENTALE 69

Protocole expérimental:

les observations 71

prélèvement des échantillons 72

préparation des échantillons 73

analyse des échantillons 78

calcul de la concentration de métal 82

Les dosages:
dosage de l'étain 84
dosage du cuivre 92
dosage de l'argent 101
dosage du chrome, du cobalt et du nickel 105
Etude des résultats 110
étude du tableau D 111
étude du tableau A 123
étude du tableau B 136
étude du tableau C 171
Conclusion 190

PATHOLOGIE ELECTROGALVANIQUE AU NIVEAU DE LA DENT: LA CARIE 193

Propriétés de l'organe dentaire 195
Pathologie électrogalvanique:
rappel de pathologie générale 200
pathologie dentaire: la carie
décalcification 201
la plaque dentaire 204
les oligo-éléments et la carie dentaire 206
l'irrésistance de l'émail:
théorie de Leimgruber 210
la valence 213
les rayons ioniques et la solvatation 214
la chélation 217

CONCLUSION GENERALE 219

BIBLIOGRAPHIE 222

Achevé d'imprimer
sous les presses de
l'Imprimerie VARIGAMMA
Casablanca
MAROC
1973

PRINTED IN MOROCCO